

# **Beitrag von Systemmodellierung zur Förderung von Mehrperspektivität**

Qualitative Analyse in technischen Studiengängen

Von der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd  
zur Erlangung des Grades einer

Doktorin der Philosophie (Dr. phil.)

angenommene Dissertation von

Yvonne Beck

aus

Köln

2023

Erstgutachter: Prof. Dr. phil. Uwe Faßhauer, Institut für Bildung, Beruf und Technik /  
Berufspädagogik, Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd

Zweitgutachter: Prof. Dr. phil. Lars Windelband, Institut für Berufspädagogik und  
Allgemeine Pädagogik, Karlsruher Institut für Technologie

Fach: Technikdidaktik

Abgabetermin der Dissertation: 31.08.2022

# Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>vi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>ix</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>xii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract (englisch)</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Einleitung und Forschungsfrage</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Systeme und Modelle</b> .....	<b>12</b>
2.1 Systeme .....	12
2.1.1 Systemansätze .....	12
2.1.2 Allgemeine Systemtheorie (AST).....	14
2.1.3 Merkmale von Systemen.....	15
2.1.4 Systembegriffe .....	16
2.1.5 Systemebenen .....	21
2.1.6 Systemkonzepte nach Ropohl .....	22
2.2 Modelle .....	25
2.2.1 Allgemeine Modelltheorie nach Stachowiak (AMT).....	25
2.2.2 Allgemeine Modellsituation.....	27
2.2.3 Bedeutung der AMT für die vorliegende Studie.....	28
<b>3 Systemmodellierung</b> .....	<b>29</b>
3.1 Formen der Systemmodellierung.....	29
3.2 Systemmodellierung mit System Dynamics .....	30
3.2.1 Systemmodellierung als zyklischer Prozess .....	31
3.2.2 Darstellungsformen für Systemmodelle.....	32
3.2.3 Aussagekraft von Systemmodellen.....	38
3.2.4 Systemarchetypen .....	39
3.2.5 Begriffsdefinition Systemmodellierung für die vorliegende Studie .....	43
<b>4 Systemmodellierung in der Lehre</b> .....	<b>44</b>
4.1 Modelle im Lern- und Verständnisprozess .....	44
4.2 Mentale Modelle .....	46
4.2.1 Mentale Modelle nach Dutke.....	46
4.2.2 Mentale Modelle in System Dynamics .....	47
4.3 Bildungswissenschaftliche Studien zur Systemmodellierung.....	49
4.3.1 Stock-Flow-Tasks (SF-Tasks) .....	49
4.3.2 Einordnung der Stock-Flow-Forschungsergebnisse .....	57
4.3.3 Kompetenzentwicklungsrahmen für System Dynamics .....	58

4.3.4	Systemdenken bei Ossimitz .....	60
4.3.5	Systemdenken bei Grundschüler*innen.....	63
4.3.6	Diagnosefähigkeit von Lehrkräften .....	64
4.3.7	Tests zur Erfassung Systemischen Denkens .....	66
4.3.8	Systemische Darstellungsformen und multiperspektivische Wissensrepräsentationen ..	67
4.3.9	Vernetztes Denken und Nachhaltigkeit.....	67
4.3.10	Zusammenfassung und Bedeutung für die eigene Studie .....	68
4.4	Modellierung im Ingenieurstudium – ein konstruktivistischer Zugang.....	70
4.4.1	Konstruktivistische Didaktik .....	70
4.4.2	Novizen modellieren anders als Experten.....	71
4.4.3	Models and Modeling Perspective.....	72
4.4.4	Lesh Translation Model .....	73
4.4.5	Representational Fluency .....	73
4.4.6	Kognitive Salienz.....	75
4.5	Qualifikationsrahmen für deutsche Hochschulabschlüsse .....	76
<b>5</b>	<b>Mehrperspektivität .....</b>	<b>78</b>
5.1	(Mehr-)Perspektivität und Systemmodellierung .....	78
5.1.1	Systeme und Perspektivität .....	79
5.1.2	Akteure und Zielpluralität in der Systemmodellierung.....	79
5.1.3	Transdisziplinarität in der Hochschullehre .....	83
5.1.4	Kontingenz von Modellen.....	84
5.2	Mehrperspektivischer Technikunterricht .....	86
5.2.1	Technik, Technologie und Ingenieurwissenschaften .....	86
5.2.2	Technische Bildung .....	87
5.3	Allgemeine Technologie nach Ropohl.....	89
5.3.1	System- und Modellverständnis bei Ropohl .....	89
5.3.2	Mehrperspektivität der Technik bei Ropohl .....	90
5.3.3	Systemmodell der Technik .....	92
5.3.4	Zielpluralität in der deutschen Energiepolitik.....	97
5.3.5	Die Energiewende in Deutschland.....	97
5.3.6	Anwendungsfeld der Studie: Biogasanlagen .....	98
5.3.7	Begriffsdefinition für die Studie .....	99
5.3.8	Wirkungsdiagramme als Darstellungsmittel dynamischer und perspektivischer Komplexität .....	101
<b>6</b>	<b>Forschungsdesign und Forschungsmethodik .....</b>	<b>103</b>
6.1	Forschungsfrage und Forschungsdesiderat .....	104
6.1.1	Perspektivbetrachtung und Systemmodellierung als kombiniertes Ausbildungsziel....	105
6.1.2	Lernen als aktiv konstruierender Prozess.....	106
6.2	Forschungsdesign.....	107
6.3	Sampling .....	107
6.3.1	Berufsziel der Teilnehmergruppen .....	109

6.3.2	Vorkenntnisse in der Modellbildung .....	111
6.4	Ablauf der Intervention.....	112
6.5	Datenerhebung .....	113
6.5.1	Datenerhebung vor der Intervention .....	113
6.5.2	Datenerhebung während der Intervention.....	114
6.5.3	Datenerhebung nach der Intervention .....	115
6.6	Transkription.....	116
6.6.1	Transkriptionsregeln und Datenbeispiele.....	116
6.6.2	Transkriptionsbeispiele .....	117
6.7	Datenauswertung.....	118
6.8	Gütekriterien qualitativer Forschung .....	120
6.8.1	Eignung qualitativer Forschung für die vorliegende Studie .....	122
6.8.2	Externe Studiengüte .....	123
6.8.3	Interne Studiengüte .....	124
6.8.4	Zusammenfassung der Implikationen für die eigene Studie .....	127
<b>7</b>	<b>Qualitative Inhaltsanalyse.....</b>	<b>129</b>
7.1	Codierung.....	129
7.2	Ansätze der Inhaltsanalyse.....	132
7.2.1	Ursprünge der Inhaltsanalyse.....	132
7.2.2	Konzepte der qualitativen Inhaltsanalyse .....	132
7.2.3	Zusammenfassende qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring .....	134
7.2.4	Inhaltlich-strukturierende qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz.....	134
7.2.5	Evaluative qualitative Inhaltsanalyse.....	136
7.3	Auswahlsschritte im Auswertungsprozess der qualitativen Inhaltsanalyse.....	137
7.4	Qualitative Inhaltsanalyse in der eigenen Studie: Übersicht.....	139
7.4.1	Konventionen zur Beschriftung von Modellzitate .....	139
7.4.2	Analyseeinheiten und Codierung.....	141
7.5	Iterationszyklen der Inhaltsanalyse .....	142
7.5.1	Auswertungszyklus 1: Sichtung der Daten und erste kohärente Fälle .....	142
7.5.2	Auswertungszyklus 2: Vielfalt der Ausprägungen .....	147
7.5.3	Auswertungszyklus 3: Komplexitätsreduktion und finales Kategoriensystem.....	149
<b>8</b>	<b>Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse .....</b>	<b>151</b>
8.1	Darstellung der Hauptkategorien .....	151
8.2	Darstellung des ausdifferenzierten Kategoriensystems .....	153
8.3	Beschreibung der Kategorien und Subkategorien.....	157
8.3.1	Erklärung der Modellstruktur .....	157
8.3.2	Perspektiven im Modell .....	162
8.3.3	Vernetzung von Perspektiven .....	164
8.3.4	Ursprung der Modellgrößen.....	170
8.3.5	Aggregation .....	173

8.3.6	Interaktion .....	177
8.3.7	Benannte Herausforderungen.....	178
8.4	Zusammenhangsanalyse .....	180
8.4.1	Zusammenhang zwischen Erklärung der Modellstruktur und Vernetzung von Perspektiven.....	180
8.4.2	Zusammenhang zwischen weiteren Kategorien.....	184
8.4.3	Zusammenhänge zwischen Perspektiven und weiteren Kategorien .....	187
8.4.4	Konfigurationen .....	189
8.4.5	Zusammenfassung der Inhaltsanalyse und Bezug zur Typenbildung .....	192
<b>9</b>	<b>Intercoder-Übereinstimmung .....</b>	<b>195</b>
9.1	Übereinstimmung bei der Codierung strukturelle Kategorien .....	196
9.1.1	Durchführung und Ergebnisse .....	196
9.1.2	Diskussion.....	198
9.2	Vergleich der Codierung thematischer Kategorien.....	200
9.2.1	Durchführung und Ergebnisdarstellung .....	200
9.2.2	Diskussion.....	202
9.3	Zusammenfassung zur Intercoder-Übereinstimmung .....	204
<b>10</b>	<b>Methodik der empirisch begründeten Typenbildung.....</b>	<b>205</b>
10.1	Einführung in die Typenbildung.....	205
10.2	Empirisch begründete Typenbildung nach Kelle und Kluge .....	205
10.2.1	Typenbildendes Verfahren nach Kuckartz.....	206
10.2.2	Polythetische Typologien.....	207
10.2.3	Einordnung der eigenen Typologie.....	208
<b>11</b>	<b>Entwicklung der Typologie .....</b>	<b>209</b>
11.1	Beschreibung des Merkmalsraums .....	209
11.1.1	Beschreibung des Merkmals Entwicklung der Modellierungskennntnisse .....	210
11.1.2	Beschreibung des Merkmals Vernetzung von Perspektiven.....	211
11.1.3	Vom Merkmalsraum zur Typenbildung.....	211
11.1.4	Kurzbeschreibung der Typen .....	214
11.2	Darstellung der Typologie .....	215
11.3	Zusammenfassung.....	217
<b>12</b>	<b>Charakterisierung und Zusammenhangsanalyse der Randtypen.....</b>	<b>219</b>
12.1	Typus 1: Mehrperspektivisch methodensichere Modellierer .....	220
12.2	Typus 2: Disziplinär geprägter Modellierer .....	229
12.3	Typus 5: Der Novize der Systemmodellierung.....	237
12.4	Vergleich der Randtypen .....	243
<b>13</b>	<b>Charakterisierung und Zusammenhangsanalyse der Zentraltypen .....</b>	<b>245</b>
13.1	Typus 3: Der geleitet mehrperspektivisch Lernende .....	245

13.2	Typus 4: Der themenzentriert Methodenlernende .....	256
<b>14</b>	<b>Diskussion der Studiengüte .....</b>	<b>266</b>
14.1	Interne Studiengüte .....	266
14.2	Externe Studiengüte .....	273
14.3	Limitationen der Arbeit.....	276
14.3.1	Theoretische Durchdringung .....	277
14.3.2	Originalität .....	278
14.3.3	Empirische Sättigung .....	278
14.3.4	Gegenstandsangemessenheit .....	280
14.4	Reflexion zur eigenen Perspektivität und zum Bildungshintergrund .....	281
<b>15</b>	<b>Ausblick und Fazit .....</b>	<b>284</b>
15.1	Impulse für weitere Forschungsthemen .....	284
15.1.1	Studien mit erweiterten Samples oder erweiterter Datenerhebung.....	284
15.1.2	Theoretische Konzepte zur Charakterisierung von Systemmodellierung und Mehrperspektivität .....	286
15.1.3	Offene Lernumgebung mit Wirkungsdiagrammen gestalten.....	289
15.2	Lernpfade .....	291
15.2.1	Lernpfade für Randtypen .....	292
15.2.2	Lernpfade für Zentraltypen .....	294
15.2.3	Entwurf eines Baukastens für Systemmodellierung zur Förderung von Mehrperspektivität .....	296
15.3	Fazit .....	299
<b>16</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>302</b>
<b>17</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>303</b>

**Anhang**

**Anhang - 1**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Übersicht über die Kapitel der Arbeit.....	10
Abbildung 2-1: Darstellung von Systemansätzen als Felder praktischer und akademischer Bedeutung (verändert nach Ison 2010, S. 28). .....	13
Abbildung 2-2: Schematische Darstellung eines Systems in seiner Systemumwelt (verändert nach Bossel 2004, S. 55). .....	15
Abbildung 2-3: Emergenz in komplexen Systemen (verändert nach Lewin 1993, in Ratter und Treiling 2008, S. 31) .....	18
Abbildung 2-4: Darstellung eines Regelkreises (verändert nach Lunze 2013, S. 4).....	19
Abbildung 2-5: Systemebenen (verändert nach Bossel 2004, S. 46). .....	21
Abbildung 2-6: Systemkonzepte der Allgemeinen Systemtheorie (eigene Abbildung verändert nach Ropohl 2005, S. 27). .....	23
Abbildung 2-7: Allgemeine Modellsituation (eigene, vereinfachte Darstellung in Anlehnung an Neugebauer 1980, S. 56). .....	27
Abbildung 3-1: Vergleich von Modellierungsstrategien (Bossel 2004, S. 55). .....	29
Abbildung 3-2: Iterativer Charakter des Modellierungsprozesses (eigene Darstellung in Anlehnung an Sterman 2000, S. 88).....	31
Abbildung 3-3: Vier Stufen der Darstellung von Systemen (verändert nach Ossimitz 2000, S. 79).....	33
Abbildung 3-4: Beispiele für einfache und vernetzte Wirkungsbeziehungen a) 1:1 Relation, b) 1:n-Relation c) m:1-Relation, d) m:n-Relation. ....	34
Abbildung 3-5: Struktur und Entwicklungspfad eines Gleichgewichtsprozesses mit Zeitverzögerung (verändert nach Pruyt (2013), S. 44).....	42
Abbildung 3-6: Struktur und Entwicklungspfad des Archetyps „Fixes that fail“ (verändert nach Pruyt (2013), S. 44).....	42
Abbildung 4-1: Prozess der Modellbildung (erweitert nach Eschenhagen et al. 1996, in Sommer 2006, S. 50),.....	45
Abbildung 4-2: Darstellungsvarianten von Stock-Flow-Modellen über Zufluss- und Abfluss, sowie über eine Netto-Flussrate .....	49
Abbildung 4-3: Department Store Task (DS-Task) (verändert nach Sterman 2002, S. 510).....	51
Abbildung 4-4: Bathtub Dynamics Task (BD-Task) (verändert nach Booth Sweeney und Sterman 2000, 253ff.). Mit (*) versehene Teilaufgaben wurden für die vorliegende Studie ergänzt. ....	52
Abbildung 4-5: Kompetenzrahmen der System Dynamics Modellierung mit sieben „System Dynamic Skills“ (eigene Abbildung, verändert nach Schaffernicht und Groesser 2016, S. 60). .....	58
Abbildung 4-6: Elemente der konstruktivistischen Sichtweise von Lernen (verändert nach Riemeier 2007, S. 70).....	71
Abbildung 4-7: Lesh Translation Modell, erweitert durch Darstellungsformen für Konzeptmodelle (graue Markierung), (verändert nach Lesh und Doerr 2003, S.12). ....	74
Abbildung 4-8: Graphische Zusammenfassung, wie Studierende mit unterschiedlichem Domänenwissen Darstellungsmerkmale zur Problemlösung nutzen (verändert nach Johnson-Glauch und Herman 2019). .....	75
Abbildung 5-1: Kompetenzentwicklung unter doppeltem Perspektivwechsel (verändert nach Reis und Szczyrba 2010, S. 285).....	85



Abbildung 5-2: Schema technologischer Problem (verändert nach Ropohl 1999, S. 44).....	90
Abbildung 5-3: Dimensionen und Erkenntnisperspektiven der Technik (verändert nach Ropohl 1999, S. 31). .....	91
Abbildung 5-4: Blockschema des technischen Sachsystems bzw. Handlungssystems (eigene Darstellung, verändert nach Ropohl 1999, S. 120). .....	93
Abbildung 5-5: Ablaufstruktur der Sachverwendung (verändert nach Ropohl 1999, S. 169). ...	93
Abbildung 5-6: „Bedingungen und Folgen der Sachverwendung“ (oben), sowie ihre hierarchische Verflechtung (unten) (verändert nach Ropohl 2009, S. 241 und 243). ....	94
Abbildung 5-7: Energiepolitisches Zieldreieck (in Anlehnung an Pittel 2012). .....	97
Abbildung 5-8: Vernetzung von Perspektiven durch Systemmodellierung in der Studie (eigene Darstellung). .....	99
Abbildung 6-1: Qualifikationsziele für Hochschulabsolvent*innen in Bezug auf Komplexität von Systemen (eigene Darstellung in Anlehnung an KMK 2005, KMK 2017).....	105
Abbildung 6-2: Zyklischer Forschungsprozess im empirischen Teil der Studie. ....	107
Abbildung 6-3: Ablauf der Intervention (eigene Darstellung). .....	112
Abbildung 6-4: Pretest (verändert nach Ossimitz 2000, S. 195). .....	114
Abbildung 6-5: Posttest (verändert nach Ossimitz 2000, S. 196). .....	115
Abbildung 6-6: Modell und Ausschnitt des Transkripts zur Modellvorstellung bei IDM16-W041. ....	117
Abbildung 6-7: Interne und externe Gütekriterien, sowie theoretischer Bezugsrahmen qualitativer Forschung (eigene Darstellung). .....	121
Abbildung 7-1: Konstruktion von Kategorien (eigene Abbildung in Anlehnung an Kuckartz 2018, S. 64). .....	130
Abbildung 7-2: Generelles Ablaufschemas qualitativer Inhaltsanalysen (verändert nach Kuckartz 2018, S. 45). .....	133
Abbildung 7-3: Ablaufschema einer inhaltlich-strukturierenden Inhaltsanalyse (verändert nach Kuckartz 2018, S. 100). .....	135
Abbildung 7-4: Zyklischer Auswertungsprozess. ....	142
Abbildung 7-5: Exemplarische Darstellung eines Codememos. ....	143
Abbildung 8-1: Einordnung des Kapitels in den Auswertungsprozess (eigene Darstellung). ..	151
Abbildung 8-2: Häufigkeit der Codierung der Kategorie <i>Modellierungskennntnisse</i> nach Studierendengruppe. ....	161
Abbildung 8-3: Codierung von Modell und Modellvorstellung bei IDM17-H680. ....	163
Abbildung 8-4: Häufigkeit der Subkategorien zur Hauptkategorie <i>Vernetzung von Perspektiven</i> nach Studienganggruppen und Modellierungsvorkenntnissen. ....	169
Abbildung 9-1: Intercoder-Übereinstimmung auf Dokumentebene (N = 18). .....	196
Abbildung 9-2: Summary Grid zur Darstellung der Codierungen zweier Codes. ....	198
Abbildung 10-1: „Stufenmodell empirisch begründeter Typenbildung“ (verändert nach Kelle und Kluge 2010, S. 92). .....	206
Abbildung 10-2: Schematische Darstellung der typenbildenden Inhaltsanalyse (innerer Zyklus) eingebettet in das allgemeine Ablaufschema inhaltsanalytischer Verfahren (äußerer Zyklus) (eigene Darstellung, verändert nach Kuckartz 2018, S. 148 und S. 153). ....	207
Abbildung 11-1: Typologie mit fünf Fällen. ....	215
Abbildung 11-2: Gruppierung der Typen im Merkmalsraum der Typologie nach Randtypen und Zentraltypen. ....	218
Abbildung 12-1: Modell von IDM16-W696. ....	227
Abbildung 12-2: Pretest-Darstellung (links), Posttest-Darstellung (rechts) von IP17-A372....	238

Abbildung 13-1: Modellierungsprozess von IDM17-S959. Hervorhebung wie im Original....	258
Abbildung 14-1: Memo zur Fallzusammenfassung von IDM17-E744.....	272
Abbildung 14-2: Veränderung von Typen in der letzten Iteration der Typenbildung.....	273
Abbildung 14-3: Pentagramm qualitativer Gütekriterien (verändert nach Strübing et al. 2018, S. 98). .....	277
Abbildung 15-1: Verhältnis zwischen Situation, mentalem Modell des dynamischen Systems, sowie Mentalen Modellen der Möglichkeiten (MMP) und Strategien (Schaffernicht et al. 2021, S. 9).....	287
Abbildung 15-2: Erweitertes Lesh Translation Model mit Einbindung von Wirkungsdiagrammen. (verändert nach Lesh und Doerr 2003, S. 12).....	288

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 0-1: Pseudonyme und Studiengangsgruppen .....	xiv
Tabelle 2-1: Struktur- und Verhaltenskomplexität (verändert nach Egner und Ratter 2008, S. 13).....	18
Tabelle 3-1: Polaritäten verschiedener Wirkungsbeziehungen mit symbolischer und verbaler Darstellung. ....	34
Tabelle 3-2: Wirkungsketten und ihre Beschreibung.....	35
Tabelle 3-3: Klassifizierung von Rückkopplungen.....	35
Tabelle 3-4: Zeitverzögerungen in Wirkungsdiagrammen.....	36
Tabelle 3-5: Wirkungsdiagramm und Zeitverlauf bei Systemen mit Rückkopplung.....	41
Tabelle 4-1: Titelgeschichten zu den Stock-Flow-Tasks. ....	55
Tabelle 4-2: Lernziele der System Dynamics Modellierung eingeordnet in eine Matrix aus „SD-Skills“ und Entwicklungsstufen (vereinfacht nach Schaffernicht und Groesser 2016, S. 63–68). ....	59
Tabelle 4-3: Einteilung von Darstellungsformen (Ossimitz 2000, S. 211f.).....	62
Tabelle 4-4: Kompetenzniveaumodell (verändert nach Winter 2009, S. 99).....	65
Tabelle 5-1: Übersicht über Formen technischen Wissens und ihre Relevanz u.a. im Kontext von Erfindungen (verändert nach Ropohl 1999, S. 207–215 und Ropohl 1999, S. 279ff.).....	95
Tabelle 5-2: Ausgewählte Begriffe der vier Perspektiven im Themenfeld Biogasanlagen. ....	100
Tabelle 6-1: Tabellarische Übersicht über die Teilnehmergruppen. ....	108
Tabelle 6-2: Word Clouds und Zitate zu Aussagen der Teilnehmenden über ihren Traumberuf. ....	110
Tabelle 6-3: Übersicht über Transkriptionzeichen. ....	116
Tabelle 6-4: Erkenntnisse aus Ossimitz‘ Studie und Konsequenzen für das eigene Studiendesign. ....	119
Tabelle 6-5: Codierregeln für Subkategorien, die zweiticodiert wurden. ....	124
Tabelle 7-1: Farbcodierung der vier thematischen Codes zu Perspektiven. ....	139
Tabelle 7-2: Codierung von Modelldokumenten von IDM17-H680 für die Hauptkategorie <i>Perspektiven im Modell</i> . ....	140
Tabelle 7-3: In-vivo-Codes zur Hauptkategorie <i>Perspektive in der Modellvorstellung</i> mit Beschreibung des Subcodes. ....	144
Tabelle 8-1: Hauptkategorien der qualitativen Inhaltsanalyse und ihre Charakterisierung. ....	152
Tabelle 8-2: Fallbezogene thematische Summaries für zwölf Fälle (Teil 1). ....	154
Tabelle 8-3: Fallbezogene thematische Summaries für zwölf Fälle (Teil 2). ....	155
Tabelle 8-4: Tabellarische Darstellung der Codierungen für zwölf Fälle .....	156
Tabelle 8-5: Codedefinitionen und Modellbeispiele zur Kategorie <i>Beschreibung der Modellstruktur</i> .....	158
Tabelle 8-6: Codierung der Subkategorie Stufe 3: Rückkopplung mit Benennung bei IDM16-W041. ....	159
Tabelle 8-7: Beispiele für fehlerhaften oder unvollständigen Einsatz von Modellierungskonzepten in der Modellvorstellung.....	160
Tabelle 8-8: Codierung der thematischen Kategorien Perspektiven im Modell für zwölf Fälle. ....	162
Tabelle 8-9: Beispiele für Codierung <i>unklare Zuordnung</i> von Perspektiven mit Erläuterung..	164
Tabelle 8-10: Codierung mit der Kategorie <i>Vernetzung von Perspektiven</i> in Modellen und Modellvorstellungen (Teil 1).....	165

Tabelle 8-11: Codierung mit der Kategorie <i>Vernetzung von Perspektiven</i> in Modellen und Modellvorstellungen (Teil 2).....	166
Tabelle 8-12: Verteilung der Subkategorien zur Hauptkategorie Ursprung der Modellgrößen nach Studiengangsgruppen.....	173
Tabelle 8-13: Gegenüberstellung der Ausprägungen von drei Subkategorien der Aggregation mit Modellbeispielen.....	174
Tabelle 8-14: Aggregierte Darstellung der Modellgröße Kosten im Modell von MSE16-H808.	175
Tabelle 8-15: Codierungsbeispiele für Subkategorien der Hauptkategorie Interaktion.....	177
Tabelle 8-16: fallbezogene Darstellung der Codierungen zur Hauptkategorie <i>Interaktion</i> . ....	178
Tabelle 8-17: Codebeispiele für die Hauptkategorie <i>Herausforderungen</i> . ....	179
Tabelle 8-18: Zusammenhang zwischen den Hauptkategorien <i>Erklärung der Modellstruktur</i> und <i>Vernetzung</i> von Perspektiven.....	180
Tabelle 8-19: Exemplarische Darstellung von Modellen zu Ausprägungskombinationen der Kategorien <i>Erklärung der Modellstruktur</i> und <i>Vernetzung von Perspektiven</i> (Teil 1). 181	
Tabelle 8-20: Exemplarische Darstellung von Modellen zu Ausprägungskombinationen der Kategorien <i>Erklärung der Modellstruktur</i> und <i>Vernetzung von Perspektiven</i> (Teil 2). 182	
Tabelle 8-21: Übersicht der Zusammenhänge zwischen den Leitkategorien und den weiteren Hauptkategorien.....	183
Tabelle 8-22: Fallbezogene Übersicht über die Ausprägungskombinationen thematischer Subkategorien.....	184
Tabelle 8-23: Zusammenhangsanalyse zwischen thematischen Kategorien und Ursprung der Modellgröße.....	185
Tabelle 8-24: Vernetzung der Perspektiven am Beispiel des Modells von MSE16-H808. Links: Modell von MSE16-H808. Rechts: Auszug aus der Modellvorstellung.....	186
Tabelle 8-25: Konfigurationen von Merkmalsausprägungen. grau: Fallgruppierungen, die in allen Ausprägungen übereinstimmen, weiß: Fälle, die in vier von fünf Ausprägungen übereinstimmen.....	189
Tabelle 8-26: Vergleich zweier Modelle mit Gesellschaftsbezug von IDM16-H959 und IDM17-M985 (Gruppierung A).....	190
Tabelle 8-27: Erster Entwurf für Gruppierungen einer Typologie.....	191
Tabelle 8-28: Zusammenfassende Darstellung von Erkenntnissen und Einschränkungen aus der qualitativen Inhaltsanalyse.....	193
Tabelle 9-1: Berechnung der Intercoder-Übereinstimmung nach Brennan und Prediger.....	197
Tabelle 9-2: Beispiel für Begriffe, die thematisch übereinstimmend codiert wurden.....	201
Tabelle 9-3: Beispiele für Begriffe, die mehrdeutige Codierung zulassen.....	202
Tabelle 11-1: Ausprägungen des Merkmals <i>Entwicklung der Modellierungskenntnisse</i> .....	210
Tabelle 11-2: Ausprägungen des Merkmals <i>Vernetzung von Perspektiven</i> . ....	211
Tabelle 11-3: Exemplarische Darstellung zweier Fallzusammenfassungen.....	212
Tabelle 11-4: Anzahl Fälle pro Ausprägungskombination im Merkmalsraum und farbliche Markierung der Typen.....	213
Tabelle 11-5: Kurzbeschreibung der Typen mit Bezug auf die Merkmalsausprägungen.....	214
Tabelle 11-6: Benennung der Typen.....	215
Tabelle 12-1: Randtypen und ihre extremen Ausprägungen, sowie ihre Vertreter*innen.....	219
Tabelle 12-2: Ergebnisdarstellung des Zwischentests für die Personen aus Typus 1.....	222
Tabelle 12-3: Pretest und Posttest-Modelle der mehrperspektivisch methodensicheren Modellierer.....	223
Tabelle 12-4: Pretest-Darstellungen von Typus 2 (Teil 1).....	232

Tabelle 12-5: Pretest-Darstellungen von Typus 2 (Teil 2).....	233
Tabelle 12-6: Ausschnitt aus der Modellvorstellung von MSE16-E744.....	235
Tabelle 12-7: Übersicht über Ausprägungen von Modelldarstellungen bei Typus 5.....	239
Tabelle 12-8: Gegenüberstellung der Randtypen.....	244
Tabelle 13-1: Auszug aus der Modellvorstellung von IDM16-A282 (oben) und IDM17-H680 (unten). .....	249
Tabelle 13-2: Leitfragen der Teilnehmenden aus Typus 3 und ihre thematische Einordnung..	250
Tabelle 13-3: Auszug der Modelldarstellung von MSE16-W123.....	252
Tabelle 13-4: Berufliche Vorstellungen von Vertreter*innen aus Typus 4. ....	257
Tabelle 13-5: Modelle von Typus 4 mit einer bzw. mehreren Perspektiven.....	260
Tabelle 15-1: Morphologischer Kasten zur Gestaltung von Lehrveranstaltungen im Bereich Mehrperspektivität und Systemmodellierung.....	298

## Abkürzungen

<b>Abkürzung</b>	<b>Beschreibung</b>
AMT	Allgemeine Modelltheorie
AST	Allgemeine Systemtheorie
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BD-Task	Bathtub Dynamics Task
d.h.	das heißt
DS-Task	Department Store Task
ebd.	ebenda
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
engl.	englisch
FSJ	freiwilliges soziales Jahr
G	Gesellschaft (bei der Codierung von Modellen)
ggf.	gegebenenfalls
HSAA	Hochschule Aalen
I:	Interviewer
ib.	ibid (engl. für ebd.)
IDM	Masterstudiengang Industrial Management an der Hochschule Aalen
inkl.	inklusive
ISP	Integriertes Semesterpraktikum
IP	Bachelorstudiengang Ingenieurpädagogik an der PHSG / HSAA
KMK	Kultusministerkonferenz
LTM	Lesh Translation Model
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik
MIT	Massachussets Institute of Technology
MEA	Model Eliciting Activity (Aktivitäten, die Modellierung fördern)
MMDS	Mental Model of Dynamic Systems (Mentales Modell Dynamischer Systeme)
MMP	Mental Model of Possibilities (Mentales Modell der Möglichkeiten)
MSE	Masterstudiengang Systems Engineering an der HSAA
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
p.	page (Seite)
Persp.	Perspektive
PHSG	Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
PHT	Studiengang Technik Lehramt (Sekundarstufe I) an der PHSG

PKW	Personenkraftwagen
Pos.	Position (Abkürzung bei Transkript-Codierungen)
PKW	Personenkraftwagen
qIA	Qualitative Inhaltsanalyse
SD	System Dynamics
SF	Stock-Flow
SF-Task	Stock-Flow-Task
sog.	sogenannt
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics
Subkat.	Subkategorie
T	Technik (bei der Codierung von Modellen)
U	Umwelt (bei der Codierung von Modellen)
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
W	Wirtschaft (bei der Codierung von Modellen)
YB	Initialen der Forscherin (bei Übersetzungen)
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

**Tabelle 0-1: Pseudonyme und Studiengangsgruppen**

<b>Studiengangsgruppe (Jahr der Studiendurchführung)</b>	<b>Abkürzung</b>	<b>Pseudonym</b>
Master Industrial Management (2016)	IDM16	IDM16-A282
		IDM16-G846
		IDM16-H028
		IDM16-M042
		IDM16-S359
		IDM16-S978
		IDM16-W041
Master Industrial Management (2017)	IDM17	IDM17-B395
		IDM17-G784
		IDM17-H680
		IDM17-H959
		IDM17-L956
		IDM17-M985
		IDM17-S959
		IDM17-S960
		IDM17-W696
Bachelor Ingenieurpädagogik (2017)	IP17	IP17-A372
		IP17-A377
		IP17-A379
		IP17-E369
		IP17-E373
		IP17-S376
		IP17-T379
Master Systems Engineering (2016)	MSE16	MSE16-E744
		MSE16-H808
		MSE16-W122
		MSE16-W123
Lehramt Technik (2016)	PHT16	PHT16-B114
		PHT16-M113
		PHT16-N102



## **Abstract**

Systemmodellierung ist Bestandteil vieler technischer Studiengänge. Sie wird beispielsweise in der Regelungstechnik eingesetzt, um mechatronische Systeme zu beschreiben (vgl. Lunze 2013, S. 31). Dabei werden Strukturen technischer Systeme, die häufig Rückkopplungen enthalten, sowie das zeitliche Verhalten dieser Systeme untersucht (vgl. ebd., S. 11). System Dynamics ist eine Form der Systemmodellierung, welche dieselben Analyseprinzipien auf andere Themenbereiche, wie die Wirtschaft, überträgt. Systemmodellierung wird daher auch in Studiengängen wie dem Wirtschaftsingenieurwesen unterrichtet (vgl. Sterman 2000, S. 4ff., Lane 2000, S. 3).

Anstelle technische Systeme isoliert zu betrachten, schlägt Ropohl in seiner Allgemeinen Technologie vor, Technik stets in ihrer Wechselwirkung auf Mensch, Gesellschaft und Umwelt zu untersuchen (vgl. Ropohl 2009, S. 32ff.). Eine solche mehrperspektivische Systemsicht ist in Lehrveranstaltungen für angehende Techniklehrer\*innen grundlegend (vgl. z.B. Schmayl 1995, S. 55ff., Schmidt 2009, S. 49ff., Gschwendtner und Geißel 2021, S. 168ff.).

Die vorliegende empirische Studie versucht, Systemmodellierung mit einer mehrperspektivischen Systemsicht für Studierende verschiedener Technikstudiengänge zu verknüpfen. Hierzu setzen die Teilnehmer\*innen der Studie Wirkungsdiagramme als leicht zu erlernende Form der Systemmodellierung (vgl. Ossimitz und Lapp 2006, S. 63) ein, um die deutsche Energiewende mit Bezug auf ihre dynamische Entwicklung und die Integration verschiedener Perspektiven zu untersuchen.

Das Ziel der empirischen Studie ist zu beschreiben und darzustellen, in welcher Form Teilnehmer\*innen verschiedener technischer Studiengänge in einem aktiven Modellierungsprozess dynamische und perspektivische Komplexität dieses sozio-technischen Systems (vgl. Pfenning 2016, S. 102) durch Systemmodellierung abbilden.

Hierzu wurde eine Interventionsstudie durchgeführt. Die Teilnehmenden entschieden sich nach einer Informationsphase über das System Energiewende und über die Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen für die Betrachtung ausgewählter Perspektiven aus dem Spektrum Technik, Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft. Sie formulierten eine Leitfrage, zu der sie ein Wirkungsdiagramm erstellten. Das entwickelte Modell wurde anschließend anderen Teilnehmenden in Kleingruppen vorgestellt.

Zu den erhobenen Daten gehören Arbeitsdokumente der Intervention, Transkripte der Modellpräsentationen, Antworten von Pre- und Posttests, sowie soziodemografische Daten.

Das bislang weitreichend unerforschte Themenfeld der mehrperspektivischen Systemmodellierung als Inhalt bildungswissenschaftlicher Studien wurde mit einem qualitativen Forschungsdesign erkundet: Es wurden Kategorien einer qualitativen Inhaltsanalyse entwickelt, um die erhobenen Daten zunächst textstellenbasiert und später fallbasiert zu beschreiben und zu strukturieren. Hieraus wurde eine Typologie entwickelt, in der die Fälle in einem Merkmalsraum eingeordnet und nach Ähnlichkeit gruppiert wurden.

Innerhalb der Typologie wurden fünf Typen identifiziert, die sich bezüglich der Vernetzung von Perspektiven und der Entwicklung ihrer Modellierungskennnisse unterscheiden. Eine Mehrheit der Teilnehmenden wurde dem zentralen Teil der Typologie zugeordnet und konnte sowohl die Modellierung mit Wirkungsdiagrammen, als auch die Vernetzung von Perspektiven in der Studie umsetzen.

Für die Zusammenhangsanalyse wurden die fünf Typen in zwei Gruppierungen zusammengefasst: Für drei Randtypen mit einer extremeren Merkmalsausprägung im typologischen Raum wurde die Leistung in der Intervention mit Bezug auf die erhobenen Sekundärdaten eingeordnet und kontextualisiert.

Für die Vertreter\*innen der zwei Zentraltypen wurde gezeigt, dass das von ihnen erreichte Niveau der Systemmodellierung und mehrperspektivischen Systembetrachtung von Personen mit unterschiedlichen Vorkenntnissen und Studienhintergründen erreichbar ist.

Dieses Ergebnis spricht dafür, dass eine Lernumgebung, die eine selbstständige Wahl von Perspektiven und Leitfragen, ein aktives Erstellen von Modellen, sowie die Interaktion mit anderen Teilnehmenden ermöglicht, den Einsatz von Wirkungsdiagrammen zur mehrperspektivische Modellierung sozio-technischer Systeme fördern kann.

Die vorliegende qualitative Studie bietet nur einen ersten Einblick in den Forschungsbereich, der Systemmodellierung und Mehrperspektivität als Thema bildungswissenschaftlicher Forschung betrachtet. Es werden daher abschließend Vorschläge für weitere Forschungsthemen und für die Gestaltung von Lernkonzepten formuliert, die den Einsatz von Systemmodellierung zur Förderung einer mehrperspektivischen Systembetrachtung in der Hochschullehre unterstützen können.

**Schlagwörter:** Mehrperspektivität, Technikdidaktik, Ingenieurdidaktik, Systemmodellierung, Wirkungsdiagramme, qualitative Bildungsforschung, Typologie

## **Abstract (englisch)**

Systems modelling is part of many technical fields of study. For instance, it is intensively taught in control systems theory to describe mechatronical systems (Lunze 2013, p. 31). In this approach of modelling, the understanding of system structures, which often include feedback loops, and the resulting dynamic behaviour over time, are addressed (ib., p. 2013). System Dynamics is another approach of systems modelling that applies the same principles of analysis to other disciplines such as economics. It is therefore taught in study programmes such as industrial engineering (Sterman 2000, p. 4ff.).

Instead of investigating stand-alone technological systems, the integrated view of the General Technology proposed by Ropohl states, that technology should no be investigated separately, but always with respect to its influences on humans, society and ecology (Ropohl 2009, p. 32ff.). Such a multi-perspective view is central in courses for future teachers of technology (Schmayl 1995, p. 55ff., Schmidt 2009, p. 49ff., Gschwendtner and Geißel 2021, p. 168ff.).

The present empirical study attempts to connect the approaches of modelling with System Dynamics and integrating a multiperspective view on systems for students of different technical study programmes. Causal loop diagrams as an easy-to-learn approach to systems modelling (Ossimitz and Lapp 2006, p. 63) were used to model elements of the German energy transition (Pfenning 2016, p. 102) with respect to its dynamics and an integrated view on perspectives.

The aim of the study is to describe and display, in which way participants of different backgrounds actively develop models of a system to capture both its dynamical and its perspective-driven complexity.

For this purpose, an intervention was conducted in an educational setting where participants, after a session of information on the energy system and on modelling with causal loop diagrams, selected perspectives of their choice to phrase their own research question. Afterwards, they developed causal loop diagrams, which were later presented to a group of fellow students.

The data collected for the study include working documents of the interventions, transcripts of the model presentations, but also replies from a pre- and post-test, as well as socio-demographic information.

A qualitative approach of data analysis was used to explore this largely unexplored topic of research. In a cyclic process, a qualitative content analysis was conducted to establish categories that describe and structure the data. The data was first coded based

on text passages and later based on document sets of individual participants. From those findings, a typology was developed, where cases were mapped and grouped by similarity.

Five types could be identified, differing with respect to the way they combined perspectives and their progress in applying the modelling technique. A majority of the participants was mapped to the central part of the typology and was able to combine both features reasonably well.

For an analysis within the context of collected data, the five types were grouped into two clusters: For three boundary types with more extreme expression of at least one attribute in the feature space of the typology, the performance was explained with respect to the collected data.

The representatives of the two central types were shown to be less homogenous both with respect to their fields of study and with respect to other supplementary data. In particular, it was shown that their level of modelling and combining perspectives could be reached without particular prior knowledge by participants of the study.

This allows to assume that, in principle, an educational setting where an active construction of models and interaction are supported and participants can select topics and perspectives of their choice, causal loop diagrams are a modelling approach that can foster the modelling of socio-technical systems with respect to multiple perspectives.

However, the study offers only a first insight into this field of research. Therefore, ideas for research topics and for the development of educational settings are proposed to promote the use of systems modelling for an integrated and multi-perspective view on systems in higher education study programmes.

**Key Words:** Multi-Perspectivity, Technical Education, Engineering Education, Systems Modelling, Causal Loop Diagrams, Qualitative Educational Research, Typology

## 1 Einleitung und Forschungsfrage

Zu den Qualifikationszielen für Hochschulabsolvent\*innen gehören neben fachlichen Kompetenzen auch Methoden-, Selbst- und Sozialkompetenzen, welche die Wissenserschließung und Problemlösefähigkeit auch in komplexen Situationen, bei unvollständigen oder begrenzten Informationen, sowie unter Berücksichtigung multidisziplinärer Zusammenhänge ermöglichen sollen. Das Studium an Hochschulen soll insbesondere zum Umgang mit komplexen realweltlichen Problemstellungen befähigen (vgl. KMK 2005, S. 1ff., KMK 2017, S. 3ff.). Besonders in technischen Studiengängen sind authentische bzw. echte Problemstellungen (vgl. Gschwendtner und Geißel 2021, S. 170ff.) von Bedeutung, da Finalität ein Wesensbestandteil der Technik ist (vgl. Poser 2016, S. 38) und das „Schaffen gebrauchstauglicher Objekte“ (Schmayl und Wilkening 1995, S. 89), sowie ein direkter Bezug zu Realsituationen das Interesse von Personen in technischen Berufen widerspiegelt (vgl. ebd., S. 12f.).

Technische Ausbildungen sind handlungsorientiert und auch technische Studiengänge an Hochschulen für angewandte Wissenschaften sind anwendungsbezogen gestaltet (vgl. Schmayl 1995, S. 53ff., Hochschule Aalen 2017b, 2019). Zudem stellt sich in der heutigen Arbeitswelt, die einem „organisatorischen und technischen Wandel“ (BMBF 1998, S.3, in Windelband 2021) unterliegt, der von einem „digitalen und ökologischen Wandel“ (BMBF 2021b, S. 16) begleitet wird, die Aufgabe, Technik im Kontext gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und umweltbezogener Aspekte einzuordnen. Die Bedeutung eines solch mehrperspektivischen Technikverständnisses wird auch durch die aktuellen technologischen Entwicklungen beeinflusst: So schafft die Digitalisierung „gemeinsame Schnittstellen zwischen Berufen“ (Windelband 2021, S. 216), die insbesondere mit Bezug auf die Verschränkung von Arbeits- und Geschäftsprozessen „[...] ein Einlassen auf die jeweilige andere Domäne [...]“ (ebd., S. 211) erfordern werden. Insgesamt scheint, besonders im Sinne der oben skizzierten Qualifikationsziele der Kultusministerkonferenz (KMK), für technische Studiengänge neben einer „technologischen Heimat“ (vgl. Gschwendtner und Geißel 2021, S. 169) auch der Erwerb eines Überblickswissens relevant, das auch ein „öko-sozio-technologisches Systemwissen“ (Ropohl 2009, S. 214) beinhalten sollte.

Technische Sachsysteme als Teil eines größeren Systems zu begreifen, das andere Problem- und Anwendungsbereiche vernetzt, ist für verschiedene Studiengänge mit Technikbezug förderlich: So wird ein systemorientiertes Verständnis für den Wandel der Arbeitswelt für Lehrkräfte und Ausbilder\*innen in technischen Fächern empfohlen (vgl. Windelband 2021, S. 210). Auf Ebene der Managementausbildung, die in der vorliegenden Studie am Beispiel des Wirtschaftsingenieurwesens betrachtet wird,

stellt Systemmodellierung einen Ansatz für ein systemorientiertes Management dar, und Problembereiche in einem systemischen Kontext einzuordnen. So können beispielsweise unerwartete Nebeneffekte oder kontraintuitives Systemverhalten erklärt werden (vgl. Gomez 1981, S. 9ff., Ison 2010, S. 27ff., Bossel 2004, S. 55).

Studierende ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge sind mit einer fachlichen Spezialisierung in die „Umsetzung und Ausgestaltung“ (Pfenning 2016, S. 89) des technologischen Wandels eingebunden und bringen über Fächer wie Regelungstechnik oft ein mathematisch geprägtes Verständnis für die Modellierung komplexer technischer Systeme mit (vgl. Lunze 2013, S. Vff.). Auch für sie ist ein systemorientierter, mehrperspektivischer Zugang zur Technik hilfreich, um Bedingungen, Chancen und Folgen des beruflichen Handelns aus einer Metaebene einzuordnen (vgl. Ropohl 2009, S. 155ff., Schmayl und Wilkening 1995, S. 13f.).

In der vorliegenden Studie wird untersucht, in welcher Form Studierende aus den benannten technischen Studienrichtungen Wirkungsdiagramme als eine Form der Systemmodellierung einsetzen, um das System Energiewende unter Berücksichtigung verschiedener Perspektiven zu modellieren.

Komplexität in Systemen kann dabei auf zwei verschiedene Bereiche bezogen werden: Erstens bezeichnet dynamische Komplexität die zeitliche Veränderlichkeit von Systemen (vgl. Sterman 2010, S. 318ff.). Das Beschreiben und Verstehen der dynamischen Komplexität von Sachsystemen ist in verschiedenen Ingenieurdisziplinen ausgeprägt, um technische Systeme zu analysieren oder zu entwickeln (vgl. Lunze 2013, S. 1ff., Feldhusen und Grote 2013, S. 292ff.). Mit Modellierungsformen, die aus den Prinzipien des Ingenieurwesens abgeleitet sind, kann auch die dynamische Komplexität nicht-technischer Systeme untersucht werden. In der vorliegenden Studie werden zur Systemmodellierung Wirkungsdiagramme eingesetzt, die, als eine der Darstellungsformen der System Dynamics Modellierung, beispielsweise die dynamische Komplexität sozioökonomischer Systemen abbilden können, aber auch in anderen Fachbereichen eingesetzt werden (vgl. Sterman 2000, Sterman 2010, Pruyt 2013, Ford 2010).

Zweitens kann Komplexität in Systemen über die Vernetzung verschiedener Perspektiven oder Wissensbereiche begründet sein. Dies wird in der vorliegenden Arbeit als perspektivische Komplexität bezeichnet. Perspektivische Komplexität technischer Systeme wird insbesondere in der Technikdidaktik thematisiert, in der ausgehend von der integrativen Sicht der „Allgemeinen Technologie“ nach Ropohl die Wechselwirkungen der Technik mit den Menschen, der Gesellschaft, sowie der Natur betrachtet wird. Technische Sachsysteme werden dabei als nutzorientierte, vom Menschen gemachte und von ihm zweckmäßig eingesetzte Artefakte verstanden (vgl. Ropohl 2009, S. 71ff., Schmayl und Wilkening 1995, S. 14).

Fasst man die Mehrperspektivität der Technik mit Schlagworten zusammen, so können vier Bereiche identifiziert werden, die in der vorliegenden Arbeit als „Perspektiven“ bezeichnet werden:

- Technik T
- Wirtschaft W
- Gesellschaft / Politik G
- Umwelt, Ressourcen und Klimaschutz U

Um zu untersuchen, in welcher Form Systemmodellierung bei Studierenden technischer Studiengänge eine mehrperspektivische Betrachtung komplexer Systeme fördern kann, wird in der vorliegenden Studie das System der Energiewende betrachtet: In diesem sozio-technischen System (vgl. Geels 2004, in Wassermann et al. 2015, S. 66) ist die Vernetzung verschiedener Perspektiven leicht aufzuzeigen. Beispielsweise werden über das energiepolitische Zieldreieck Interessenskonflikte zwischen Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit auf politischer Ebene illustriert (vgl. Pittel 2012, S. 22ff., Pfenning 2016, S. 102 ff.).

Andererseits ist das System Energiewende dynamisch: Neben der zeitlichen Dynamik des Anlagenbetriebs zeigt auch die wirtschaftliche Seite der Energiewende, beispielsweise der Handel am Strommarkt, ausgeprägte zeitliche Veränderungen. Auf einer noch größeren Zeitskala steuern politische Rahmenbedingungen die Veränderungen des Energiesystems, beispielsweise durch die Anpassung gesetzlicher Rahmenbedingungen oder die Förderung spezieller Technologien. Der durch politische Maßnahmen gesteuerte wirtschaftlich-technologische Wandel wird seinerseits von gesellschaftlichen Forderungen und Reaktionen begleitet und soll langfristig eine Verbesserung der Umweltbilanz bewirken (vgl. Quaschnig 2011, Pittel 2012, Wassermann et al. 2015, Pfenning 2016).

Die Energiewende ist somit ein zeitdynamisches System, das inhärent mehrperspektivisch betrachtet werden kann. Für die vorliegende Studie wird es als System gewählt, anhand dessen Studienteilnehmer\*innen aus technischen Studiengängen im Rahmen einer bildungswissenschaftlichen Interventionsstudie Verschränkungen zwischen Perspektiven, aber auch die zeitliche Veränderbarkeit von Systemgrößen durch Systemmodellierung untersuchen.

Die bisherige bildungswissenschaftliche Forschung zur Betrachtung komplexer Systeme thematisiert meist nur eine der beiden Komponenten von Komplexität.

Einerseits existiert mit Ropohls Allgemeiner Technologie ein technikphilosophischer Rahmen, aus dem eine mehrperspektivische Technikdidaktik abgeleitet wurde. Diese wird in der Lehrerbildung und zunehmend in der schulischen Ausbildung

eingesetzt (vgl. Schmayl und Wilkening 1995, S. 70, Gschwendtner und Geißel 2021, S. 168ff.).

Andererseits wurde in bildungswissenschaftlichen Studien untersucht, wie Lernende dynamische Komplexität durch Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen oder anderen Darstellungsformen verstehen. Hierbei wurden wiederkehrende Fehlkonzeptionen in der Modellierung dynamischer Komplexität identifiziert und Ansätze zur Beschreibung einer „Systemkompetenz“ formuliert. Die empirischen Studien mit Studierenden konzentrierten sich dabei meist auf die Modellierung einfacher Modellsysteme und zeigten, meist mit quantitativen Methoden, dass die Einflussgrößen auf ein systemisches Denken vielfältig sind und weitere Forschung nötig ist, da bislang nur wenige Einflussgrößen auf das Denken in Systemen klar identifiziert werden konnten (vgl. z.B. Booth Sweeney und Sterman 2000, Cronin et al. 2009, Schaffernicht und Groesser 2016).

In der vorliegenden Studie wird untersucht, inwiefern Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen den Umgang mit dynamischer und perspektivischer Komplexität bei Studierenden technischer Studiengänge fördern kann, wobei die aktive Modellerstellung im Zentrum der Intervention steht.

Bisher wird Systemmodellierung mit System Dynamics in der Hochschullehre vorwiegend ausgehend von der Analyse vorgegebener Modellsysteme unterrichtet. Die eigenständige Synthese von Modellen zu realweltlichen Handlungssituationen wird meist erst auf fortgeschrittenem Lehrniveau erreicht (vgl. Schaffernicht und Groesser 2016, S. 60ff.). Mit Blick auf die Förderung von Mehrperspektivität lässt sich diese Reihenfolge jedoch infragestellen: Da in Modellsystemen Systemgrenzen und damit auch die Perspektiven der Systembetrachtung vorgegeben sind, ist dort die Möglichkeit der mehrperspektivischen Systemsicht eingeschränkt. Daher wird in der vorliegenden Interventionsstudie ein Lernsetting gewählt, in dem Teilnehmende nach Wahl individueller perspektivischer Schwerpunkte ein Systemmodell zum Themenfeld Energiewende erstellen und mehrperspektivisch erkunden. Die Studienteilnehmer\*innen stellen dabei die von ihnen ermittelten Systemzusammenhänge mithilfe von Wirkungsdiagrammen dar und tauschen sich in Kleingruppen über ihre Modelle aus. So wird der Prozess der Systemmodellierung aus Sicht der Teilnehmenden dargestellt und der Lernprozess kann unter Berücksichtigung perspektivischer und dynamischer Komplexität analysiert werden.

Hierbei bringen die Untersuchungsgruppen Technikstudierender unterschiedliche Vorkenntnisse in der Systemmodellierung bzw. der mehr-perspektivischen Betrachtung technischer Systeme mit. Es wird eine explorative Studie durchgeführt, deren Ziel eine Erstbeschreibung von Systemmodellierung und mehrperspektivischer Systembetrachtung bei Studierenden technischer Studiengänge ist.



Der qualitative Forschungsansatz folgt einem zyklischen Forschungsdesign: Es werden in der Interventionsstudie Daten aus Individual- und Gruppenphasen erhoben, die über eine qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) strukturiert und analysiert werden. Begleitet wird die Intervention durch Pre- und Posttests, die sich in anderen Studien bewährt haben (vgl. Ossimitz 2000, Sommer 2006). Die Entwicklung von Kategorien auf Fallebene unter Einbezug ausgewählter Daten aus Pre- und Posttest sind Ausgangspunkt für eine Typologie, die als zweidimensionales Auswertungsmodell die Gruppierung von Fällen nach Ähnlichkeit ermöglicht. Die Eigenschaften der Typen wiederum werden in einer Zusammenhangsanalyse im Kontext der Gesamtdaten diskutiert, um neben Charakteristika auch die Vielfalt der sekundären Merkmalsausprägungen zu berücksichtigen.

Mit der Forschungsarbeit wird ein erster explorierender Beitrag zur Frage geleistet, inwieweit Systemmodellierung die mehrperspektivische Betrachtung von komplexen Systemen bei Studierenden fördern kann. Die Erkenntnisse der Studie mit der Forschungsfrage

„In welcher Form nutzen Studierende technischer Studiengänge Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen zur mehrperspektivischen Betrachtung des komplexen Systems Energiewende?“

können angesichts der geringen Stichprobengröße und spezifischen Studiengänge nicht verallgemeinert werden. Sie können jedoch als Ausgangspunkt für weitere Studien zum Themenfeld Systemmodellierung und Mehrperspektivität in der Hochschulausbildung dienen und zur Entwicklung von Lehrmaterialien für die Systemmodellierung bei Technikstudierenden beitragen.

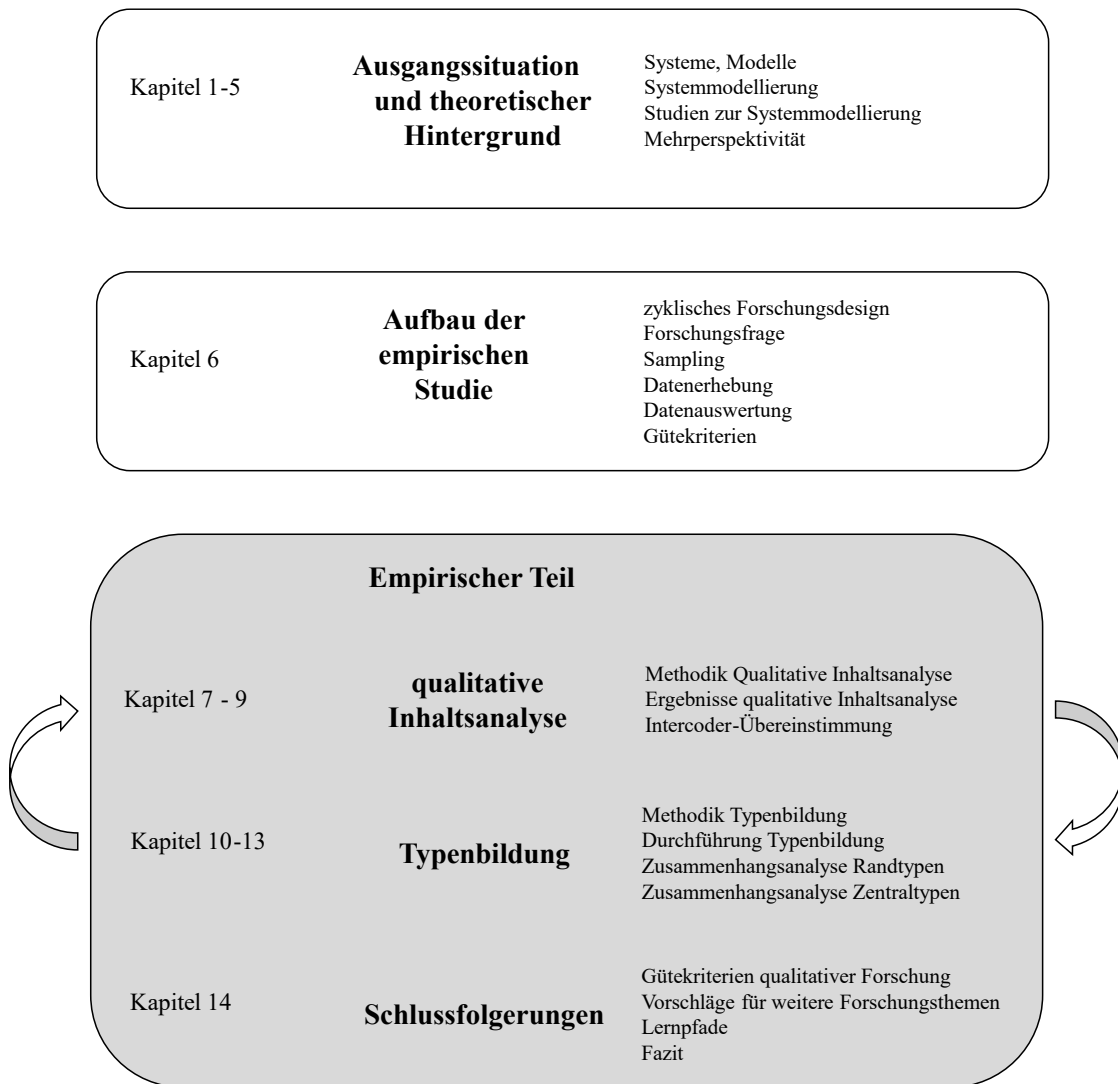


Abbildung 1-1: Übersicht über die Kapitel der Arbeit.

Abbildung 1-1 zeigt eine Übersicht über die Struktur der vorliegenden Arbeit.

Nach der Einleitung in Kapitel 1 werden im Theorieteil der Kapitel 2 bis 3 die Begriffe Systeme, Modelle und Systemmodellierung eingeführt. Kapitel 4 umfasst einen Überblick zum Stand der Forschung und stellt empirische Studien vor, welche Systemmodellierung und Modellierung im Ingenieurstudium aus bildungswissenschaftlicher Sicht untersuchen. In Kapitel 5 folgt die Klärung des Begriffs Mehrperspektivität inklusive einer Vorstellung der Allgemeinen Technologie nach Ropohl.

Im darauffolgenden Kapitel 6 werden die Forschungsfrage formuliert und das methodische Vorgehen der vorliegenden Studie in seiner Gesamtheit skizziert. Um den zyklischen Forschungsprozess in Schriftform darzustellen, erfolgt die Beschreibung und Ergebnisdarstellung der Analyseformen nacheinander:

Die methodische Beschreibung der qualitativen Inhaltsanalyse und deren Ergebnisse werden in den Kapiteln 7 und 8 dargestellt. Die Prüfung der Intercoder-Übereinstimmung als Gütekriterium der qualitativen Inhaltsanalyse ist, inklusive ihrer Implikationen für die weitere Auswertung, in Kapitel 9 beschrieben.

Es folgt in Kapitel 10 die methodische Darstellung der Typenbildung. Kapitel 11 beschreibt die Entwicklung der Typologie, die aus den Daten der vorliegenden Studie gebildet wurde. Die Kapitel 12 und 13 umfassen eine Charakterisierung der Typen, sowie eine Zusammenhangsanalyse, durch welche die niederdimensionale Typologie im Kontext der vielschichtigen Originaldaten eingeordnet wird. Hierbei werden Randtypen und Zentraltypen mit ihren unterschiedlichen Eigenschaften getrennt beschrieben.

Die Arbeit schließt mit einer Diskussion der Studiengüte in Kapitel 14 und einem Ausblick inklusive Vorschlägen für weitere Forschungsprojekte, der Charakterisierung von Lernpfaden als Ausgangspunkt zur Entwicklung von Lehrmaterialien, sowie einem Fazit in Kapitel 15.

## 2 Systeme und Modelle

Dieses Kapitel stellt die Begriffe „System“ und „Modell“, sowie ihre Verortung im Forschungskontext dar und bereitet auf die Klärung des Begriffs Systemmodellierung vor, welcher methodisch im Zentrum der vorliegenden Studie steht und in Kapitel 3 vorgestellt wird. Nach einer Übersicht über verschiedene Systemansätze werden Grundzüge der Allgemeinen Systemtheorie (AST) nach Ludwig von Bertalanffy vorgestellt.

### 2.1 Systeme

#### 2.1.1 Systemansätze

Systeme sind in verschiedenen Bereichen der Wissenschaft und der Anwendungspraxis präsent. Eine Auswahl von Entwicklungslinien, die das heutige Verständnis von Systemansätzen zusammenfassen, ist in Abbildung 2-1 abgebildet.

Neben verschiedenen disziplinären Einflussgrößen (Abbildung 2-1 links) sind in der Abbildung auch unterschiedliche Ebenen der Bedeutungszuweisung markiert (vgl. Abbildung 2-1, rechts): Während manche Systemansätze Systeme als existente Entitäten verstehen, sehen andere Ansätze Systeme als Hilfsmittel zur Erklärung von Zusammenhängen.

Ein Systems ist nach Hall und Fagen (1956) wie folgt definiert:

*„A system is a set of objects together with relationships between the objects and between their attributes.“ (Hall und Fagen 1956, in Müller 1996, S. 200).*

Bekannt wurde diese Definition über die Allgemeine Systemtheorie von Ludwig von Bertalanffy, der Systeme als Menge von Elementen beschrieb, die miteinander wechselwirken (vgl. von Bertalanffy 1968, S. 55).

Das Systemverständnis, das sich in dieser Definition ausdrückt, ist für die vorliegende Studie grundlegend: Relationen zwischen Systemelementen definieren die Struktur von Systemen. Ausgehend von dieser vernetzten Struktur werden bei der Modellierung von Systemen die Relationen zwischen Elementen (gegebenenfalls in ihrer zeitlichen Abhängigkeit) betrachtet (vgl. Kapitel 2.2.2).

Einflüsse						Systemansatz	Beispiel
Lebenswissenschaften	Informatik	Mathematik	Ingenieurwissenschaften	Ökonomie	Sozialwissenschaften		
x		x		x	x	Allgemeine Systemtheorie	Systembiologie Systems Engineering
				x		Operations Research	System Dynamics
	x	x	x		x	Kybernetik 1. Ordnung	Informations-systeme
					x	Kybernetik 2. Ordnung	Systemic Inquiry
					x	Interdisziplinäre Systemwissenschaften	Critical Systems

System als Entität / „Ontologie“

System als Erklärungsansatz / „Epistemologie“

**Abbildung 2-1: Darstellung von Systemansätzen als Felder praktischer und akademischer Bedeutung (verändert nach Ison 2010, S. 28).**

Ein solch vernetztes Systemverständnis ist über Disziplinen hinweg von Bedeutung:

*„Das Denken in Systemen und die Analyse von Wechselwirkungen kann als Suchbewegung in Natur- und Humanwissenschaften verstanden werden [...]“ (Ratter 2001).*

Im Folgenden ist die Allgemeine Systemtheorie, die zu den Ursprüngen Systemdenkens gezählt wird, zusammengefasst (vgl. Müller 1996, S. 90).

### 2.1.2 Allgemeine Systemtheorie (AST)

Die Allgemeine Systemtheorie (AST) ist ein formal-mathematischer Ansatz zur Beschreibung von Systemen, der eine Grundlage zu disziplinenübergreifenden Systemuntersuchungen bildet (vgl. Abbildung 2-1, linke Spalte).

Über die AST verband Ludwig von Bertalanffy ab den 1950er Jahren „[...] Prinzipien [...] in physikalischen, biologischen, technischen und sozialen Systemen [...] zu einer einheitlichen Lehre“ (Müller 1996, S. 195). Es resultierte ein Wissenschaftsverständnis, das „quer zur Trennung zwischen reiner und angewandter Wissenschaft“ (ebd., S. 90) anzuordnen ist. Hiermit wurde die Idee verfolgt, das Lösen von Problemen und „handelnde [...] Lebensbewältigung“ (von Bertalanffy 1973, S. 114) im Umgang mit „gesellschaftlich vordefinierten Problemlagen“ (Müller 1996, S. 90) zu ermöglichen.

In der AST werden konkrete Systeme bzw. Realsysteme (vgl. Müller 1996, S. 219 ff.) in Konzeptsysteme überführt (vgl. von Bertalanffy 1971, S. XIX f., zitiert nach Müller 1996, S. 220). Durch die mathematische Beschreibung des Systembegriffs können in unterschiedlichen Wissensgebieten strukturidentische Gesetze identifiziert werden, um basierend auf der vernetzten Systemstruktur auf „tieferliegende gemeinsame Prinzipien“ (ebd., S. 226) zu schließen. Auch die Dynamik von Systemen, sowie emergente Eigenschaften (vgl. ebd., S. 220f.) können über die AST beschrieben werden. Charakteristisch für Systemtheorien<sup>1</sup> ist die

*„Abkehr von der monokausal isolierten Betrachtung von Einzelphänomenen hin zu einer vernetzten Betrachtungsweise der Relationen zwischen den Elementen eines Systems und der Wechselwirkungen zwischen den Systemen selbst“ (Ratter und Treiling 2008, S. 25).*

Die oben zitierte Systemdefinition nach Hall und Fagen (1956), die auch von Bertalanffy aufgriff, beschreibt ein System als Menge an Elementen inklusive der Relationen zwischen den Elementen. Insbesondere sind die Eigenschaften von Systemen nicht allein durch die Betrachtung der Elemente zu verstehen. Vielmehr ist eine Untersuchung der Relationen zwischen Elementen für ein Systemverständnis notwendig (vgl. Müller 1996, S. 200). Hieraus erklärt sich die auf Aristoteles zurückzuführende und im Zusammenhang mit Systemen viel zitierte Aussage, „das ‚Ganze‘ eines Systems [sei] ‚mehr als die Summe seiner Teile“ (ebd.).

Im Folgenden werden Merkmale von Systemen beschrieben und verschiedene Begriffe zur Charakterisierung von Systemen eingeführt.

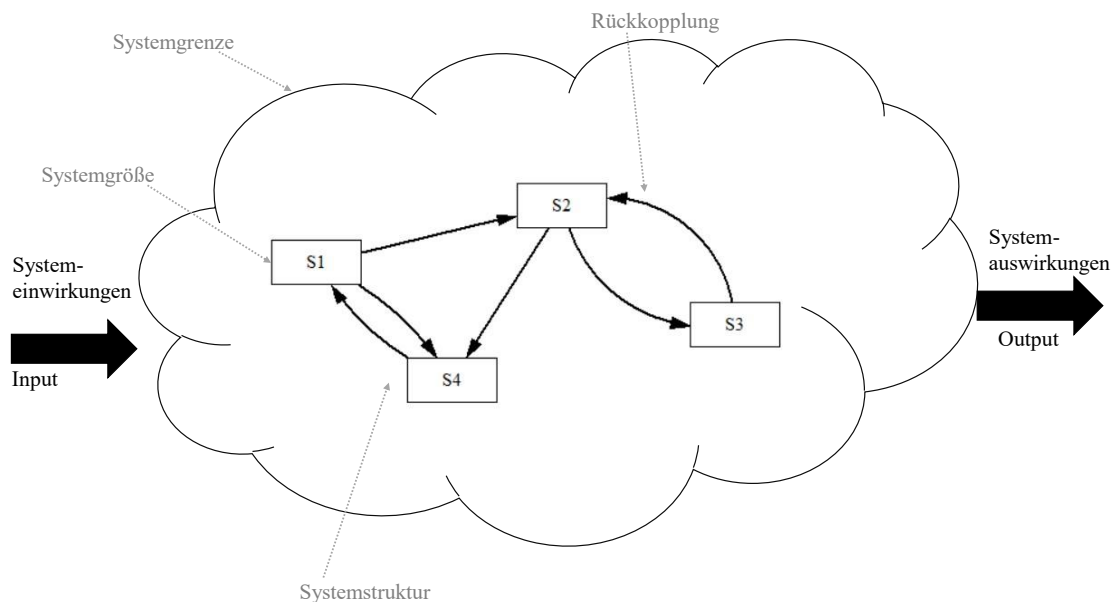
---

<sup>1</sup> Zeitnah zur AST entwickelte Norbert Wiener die Kybernetik als weitere Systemtheorie (vgl. Wiener 1968, Ratter und Treiling 2008, S. 25). Zudem entwarf auch Rapaport eine Allgemeine Systemtheorie, die Identität, sowie Organisation und Zielgerichtetheit von Systemen beschreibt (vgl. Ossimitz und Lapp 2006, S. 22f.).

### 2.1.3 Merkmale von Systemen

Die Merkmale eines Systems (vgl. Abbildung 2-2) lassen sich nach Bossel (2004) und Imboden und Koch (2003) wie folgt zusammenfassen:

- 1) Systeme erfüllen eine bestimmte Funktion, es ist ein Systemzweck zu erkennen.
- 2) Ein System besteht aus Systemelementen, die durch Wirkungsbeziehungen oder Relationen wechselwirken. Die Relationen zwischen Systemelementen, die auch als interne Dynamik bezeichnet werden, sowie die Wechselwirkungen mit der Systemumwelt, charakterisieren die Systemstruktur und bestimmen die Funktion des Systems.
- 3) Systeme besitzen eine Systemidentität. Wenn ein Element aus einem System herausgelöst wird, so geht der ursprüngliche Systemzweck verloren. Systeme sind daher nicht teilbar. Systeme existieren in einer Systemumwelt, von der sie durch eine Systemgrenze abgetrennt werden (vgl. Imboden und Koch 2003, S. 5).



**Abbildung 2-2: Schematische Darstellung eines Systems in seiner Systemumwelt (verändert nach Bossel 2004, S. 55).**

Während ein loser Haufen von Zahnrädern und anderen Metallteilen kein System darstellt, da keine Relation zwischen den Teilen besteht und die Metallteile keine Funktion erfüllen, können dieselben Metallteile zu einer Uhr zusammengesetzt ein System ergeben.

Organismen, Maschinen und Organisationen sind weitere Beispiele für Systeme, da sie alle drei Systemkriterien erfüllen (vgl. Imboden und Koch 2003, S. 5, Jacobson 2011, S. 766).

#### 2.1.4 Systembegriffe

Bei der Betrachtung von Systemen beeinflusst der Untersuchungsbereich, was Teil des Systems, was Teil der Umwelt ist. Auch eine eventuelle Untergliederung in Subsysteme<sup>2</sup> ergibt sich aus der Festlegung des Untersuchungsbereichs (vgl. Müller 1996, S. 202ff.).

Unterschieden wird zwischen offenen und geschlossenen Systemen: In einem geschlossenen System stellen alle Inputs gleichzeitig Outputs desselben Systems dar. Hierdurch sind alle Elemente direkt oder indirekt aneinandergeschlossen. Im Gegensatz dazu umfassen offene Systeme unabhängige Randelemente. Insbesondere sind offene Systeme in eine Umwelt eingebettet (vgl. Abbildung 2-2, Hall und Fagen 1956, in Müller 1996, S. 203).

Dynamik beschreibt „die Zeitabhängigkeit, die Veränderlichkeit und den Wandel der betrachteten Gegenstände“ (Ropohl 1975, S. 19). Bei der Betrachtung dynamischer Systeme werden Vorgänge beschrieben, anstelle Momentaufnahmen oder Zustände von Situationen zu betrachten (vgl. Bossel 2004, S. 85ff.). Dynamische Systeme sind im Ingenieurwesen definiert als Funktionseinheiten, „deren wichtigsten Kenngrößen sich zeitlich ändern und die deshalb als Funktionen der Zeit dargestellt werden“ (Lunze 2013, S. 2), wobei Eingangsgrößen bzw. Inputs als einwirkende Größen die zeitlichen Veränderungen im System verursachen und Ausgangsgrößen bzw. Outputs „das Verhalten des Systems als Reaktion auf die Eingangsgrößen beschreiben“ (Lunze 2013, S. 2). Dynamik und Anpassungsfähigkeit sind jedoch auch außerhalb der Technik für Systeme charakteristisch und können auch für die Veränderung von Systemen beschrieben werden.

*„[...] wo man umfassende Systeme, seien sie organisatorisch-gesellschaftlicher oder auch technischer Natur, zu planen hat, leitet sich aus der 'Idee des Wandels' (nach Chestnut 1965) die Forderung nach Flexibilität ab: Das, was man in die Welt setzt, ob Organisation oder technische Anlage, muß wandlungsfähig bleiben, muß mit der Eigenschaft ausgestattet werden, veränderten Lagen jederzeit durch Anpassung Rechnung tragen zu können“ (Ropohl 1975, S. 20).*

Die zeitliche Veränderlichkeit von Systemen führt zu dynamischer Komplexität (vgl. Kapitel 2.2.2).

Zur Beschreibung dynamischer Systeme durch Modelle werden zwei Ansätze unterschieden: Verhaltensbeschreibende Ansätze stellen einen mathematisch-funktionalen Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen dar, wobei das System als *Black Box* angesehen wird.<sup>3</sup> Demgegenüber wird bei verhaltensklärenden Ansätzen zunächst die Systemstruktur (inklusive Rückkopplungen) betrachtet und aus strukturellen Mustern auf Verhaltenszusammenhänge geschlossen (vgl. Kapitel 3.1,

---

<sup>2</sup> Über Subsysteme ergeben sich Hierarchien in der Betrachtung von Systemen (vgl. Systemkonzepte nach Ropohl, Kapitel 2.1.6).

<sup>3</sup> Dieses Konzept wird unter anderem in der Kybernetik eingesetzt (vgl. Müller 1996, S.125ff.).



Bossel 2004, S. 55). Die in der vorliegenden Arbeit betrachtete Systemmodellierung basiert auf einem verhaltensklärenden Systemkonzept, das in Kapitel 3.2 dargestellt ist.

Komplexität beschreibt in der Systemtheorie die Vielschichtigkeit, aber auch die Größe von Systemen:

*„Die Komplexität eines Systems steigt mit der Anzahl an Elementen, der Anzahl an Verknüpfungen zwischen diesen Elementen, sowie der Funktionalität dieser Verknüpfungen (zum Beispiel Nicht-Linearität)“ (Dittes 2012, S. 2).*

In der AST kann die Komplexität eines Systems über mathematische Funktionen charakterisiert werden, welche Beziehungen zwischen Inputs und Outputs des Systems angeben. Ordnung und Lösungsverhalten der Funktion bestimmen die Komplexität des Systems. Systeme, welche dieselbe Komplexität aufweisen, können isomorph, also durch dieselbe formale Beschreibung, aufeinander bezogen werden. So lassen sich strukturelle Ähnlichkeiten über Wissensbereiche hinweg verglichen (vgl. Müller 1996, S.202f.). Im Bereich der Systemmodellierung wird diese strukturelle Gleichheit auch über Archetypen abgebildet (vgl. Kapitel 3.2.4).

Komplexität von Systemen kann weiterhin in Strukturkomplexität und Verhaltenskomplexität untergliedert werden (vgl. Egner und Ratter 2008, S. 13, Dittes 2012, S. 3).

Eine komplexe Struktur zeichnet sich aus durch

*„ [...] viele oder vielfältige Elemente, die intensive Wechselbeziehungen aufweisen. Jedes Element ist mit anderen verknüpft; die Art der Verknüpfungen kann ihrerseits nicht-trivial, z.B. nicht-linear sein. Infolge der Verflechtungen der Elemente bilden sich vielschichtige innere Strukturen aus.“ (Dittes 2012, S. 3f.).*

Unter komplexem Verhalten wird zunächst eine „Vielfalt von Reaktionsmöglichkeiten“ (ebd., S. 3) verstanden: „Je nach Blickwinkel und nach der an das System gestellten Frage kann es verschiedene, z.T. widersprüchliche Seiten offenbaren.“ (ebd.).

In Tabelle 2-1 sind Beispiele für Systeme unterschiedlicher Struktur- und Verhaltenskomplexität dargestellt.

Komplexes Verhalten wird beispielsweise bei Menschen, bei sozialen Systemen, aber auch in Ökosystemen oder technischen Systemen beobachtet. Beispiele für strukturell- und verhaltenskomplexe Systeme sind die sozio-technischen Systeme, die in der vorliegenden Arbeit von Studierenden betrachtet werden.

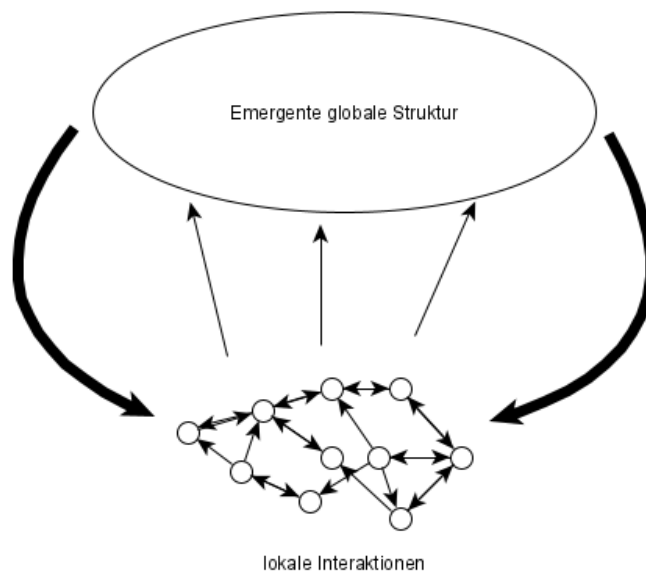
**Tabelle 2-1: Struktur- und Verhaltenskomplexität (verändert nach Egner und Ratter 2008, S. 13).**

Struktur \ Verhalten	einfach	komplex
einfach	Pendel	Auto, Fernsehgerät
komplex	Doppelpendel Amöbe	Säugetier Wetter Gesellschaft

Verhaltenskomplexe Systeme können sich an Herausforderungen anpassen, indem sie sich entwickeln oder adaptieren. Verhaltenskomplexität bringt andererseits jedoch „eine gewisse Unvorhersagbarkeit des Verhaltens“ (Dittes 2012, S. 3) mit sich.<sup>4</sup>

Das Lösen komplexer Probleme erfordert „[...] ein Bündel von Einzelmaßnahmen, deren Wirkung von einer Vielzahl an Faktoren abhängt und die sich zum Teil gegenseitig beeinflussen“ (ebd., S. 3).

Komplexe Systeme können Emergenzen aufweisen. Diese können über die Wechselwirkungen verschiedener Ebenen visualisiert werden (vgl. Abbildung 2-3).



**Abbildung 2-3: Emergenz in komplexen Systemen (verändert nach Lewin 1993, in Ratter und Treiling 2008, S. 31) .**

<sup>4</sup> Für die vorliegende Studie wird weiterhin explizit die Komplexität durch Perspektiven betrachtet, die in Kapitel 5.3.10 definiert wird.

Ein hierarchisches Systemkonzept kann dazu beitragen, Zusammenhänge zu erklären (vgl. auch Kapitel 2.1.6). So schreibt von Bertalanffy über Emergenz:

*„Die Eigenschaften und Verhaltensweisen höherer Ebenen sind nicht durch die Summation der Eigenschaften und Verhaltensweisen ihrer Bestandteile erklärbar, solange man diese isoliert betrachtet. Wenn wir jedoch das Ensemble der Bestandteile und Relationen kennen, die zwischen ihnen bestehen, dann sind die höheren Ebenen von den Bestandteilen ableitbar.“ (Bertalanffy 1972, S. 25, in Ropohl 2009, S. 72).*

Emergenz lässt sich somit über die Betrachtung verschiedener Systemebenen beschreiben und entschlüsseln (vgl. Abbildung 2-3), womit sich erklärt, dass „das Ganze als „die Summe seiner Teile‘ und die Summe der Beziehungen zwischen den Teilen‘ [zu beschreiben ist]“ (Ropohl 1999, S. 72).<sup>5</sup>

Linearität wird strukturell durch direkte Relationen zwischen Systemgrößen beschrieben. Mathematisch gesehen drückt Linearität auch die Proportionalität zwischen zwei Größen aus, z.B. einer Systemgröße und der Zeit. Nichtlinearitäten im Zeitverhalten können strukturell über Rückkopplungen zwischen Systemgrößen erklärt werden (vgl. Kapitel 3.2, Papula 2014, S. 75).

Nichtlinearitäten und ihre Einflüsse auf das Systemverhalten werden im Ingenieurwesen unter anderem in der Kybernetik, sowie in der Regelungstechnik untersucht (vgl. Lunze 2013, S. 5 ff., Egner und Ratter 2008, S. 10). Während „Steuerung die zielgerechte Beeinflussung eines dynamischen Systems bezeichnet [...]“ (Lunze 2013, S. 2), ist Regelung die „Steuerung im geschlossenen Wirkungskreis“ (ebd., S. 10) bei der die Differenz zwischen Soll- und Istwert die Stellgröße beeinflusst, um das Regelziel zu erreichen (vgl. ebd., S. 4, Abbildung 5-4).

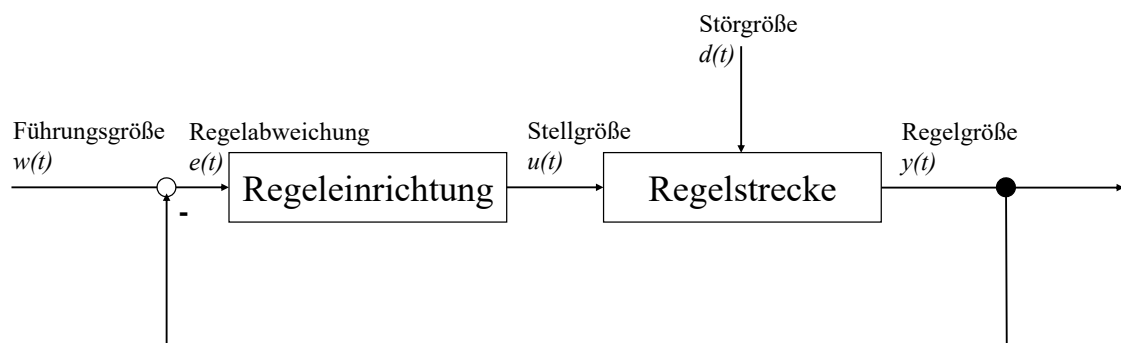


Abbildung 2-4: Darstellung eines Regelkreises (verändert nach Lunze 2013, S. 4).

Der Umgang mit Rückkopplungen (engl. *feedbacks*), die nichtlineares Zeitverhalten verursachen, ist dabei zentral: „Die Rückkopplung ist das wichtigste Grundprinzip der Regelungstechnik“ (Lunze 2013, S. 11).

<sup>5</sup> Für von Bertalanffy war diese Erkenntnis auch „auf das Zusammenwirken der Wissenschaften anzuwenden“ (Ropohl 1999, S. 72), womit die Ansätze eines transdisziplinären Wissenschaftsverständnisses gezeichnet wurden (vgl. Ropohl 2010).

Auch in der Systemmodellierung nicht-technischer Systeme werden Nichtlinearitäten strukturell über Rückkopplungen erklärt. Die in der vorliegenden Arbeit genutzte Darstellungsform System Dynamics leitet sich aus den Prinzipien der Regelungstechnik ab und wird beispielsweise zur Darstellung sozioökonomischer Systeme eingesetzt (vgl. Lane 2000 S. 3, Richardson 1992, S. 105).

In komplexen Systemen ist Linearität meist Folge einer Vereinfachung nichtlinearer Zusammenhänge, durch die Komplexität reduziert wird. Linearisierung kann methodisch kontrolliert zur Vereinfachung in einem zeitlichen oder räumlichen begrenzten Bereich eingesetzt werden. Im Ingenieurwesen stellt dieses Vorgehen einen lösungsorientierten Ansatz dar, durch den auf umfangreichere mathematische Hilfsmittel zugegriffen werden kann, die nur auf lineare Systeme anwendbar sind (vgl. Lunze 2013, S. 109ff.). Dies ergeben sich Systembeschreibungen, die lokal um einen Arbeitspunkt herum gültig sind (vgl. Papula 2014, S. 138).<sup>6</sup>

Andererseits ist ein lineares Denken offenbar eine weit verbreitete, schwer zu durchbrechende Heuristik, die möglicherweise in Bezug zu einer ausgeprägten Beschäftigung mit Proportionalität in der Schulmathematik steht (vgl. z.B. Modestou und Gagatsis 2007, Cronin et al. 2009). Linearisierung kann also auch unbewusst eingesetzt werden und als Lösungsstrategie im Umgang mit kontraintuitiven nichtlinearen Eigenschaften von Systemen eingesetzt werden. Dies führt ggf. zu konzeptionellen Fehlvorstellungen (vgl. Kapitel 4).

Da Nichtlinearität ein Auslöser für Verhaltenskomplexität und dynamische Komplexität ist (vgl. Sterman 2002, S. 522), besteht ein Anliegen der in Kapitel 3 dargestellten Systemmodellierung darin, über die Visualisierung von Rückkopplungen und nichtlinearen Zusammenhängen Komplexität in Systemen besser verständlich zu machen.

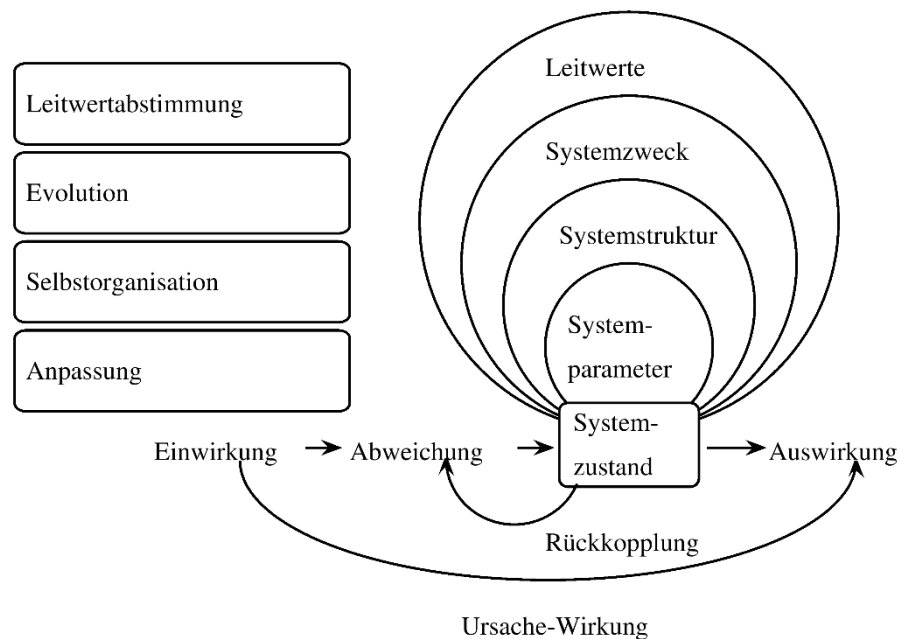
---

<sup>6</sup> Ein typisches Beispiel ist die Kleinwinkelnäherung: für kleine Auslenkungen  $x$  kann durch Abschneiden der Taylorreihe  $\sin(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^{2k+1}}{(2k+1)!} = \frac{x^1}{1} + \frac{x^3}{3 \cdot 2 \cdot 1} + \frac{x^5}{5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} + \dots$  vereinfacht werden zu  $\sin(x) \approx x$ . Erst hierdurch lässt sich die Schwingung eines Pendels (vgl. Tabelle 2-1) mit einfachen Mitteln beschreiben (vgl. Hering et al. 2021, S. 381).

### 2.1.5 Systemebenen

Dynamik kann auf verschiedenen Ebenen wirken. Bossel unterscheidet „[v]erhaltensändernde interne Rückwirkungen“ (Bossel 2004, S. 45) auf unterschiedlichen Zeitskalen (vgl. Abbildung 2-5). Während Ursache-Wirkungs-Beziehungen sofort erfolgen, und sich in der Modellierung dadurch äußern, dass Input und Output in direkter Verbindung stehen, läuft bei Rückkopplungen die Reaktion über eine Zustandsgröße: Die Abweichung zwischen Ist- und Sollwert wirkt auf das System zurück (vgl. auch Abbildung 2-4). So beeinflusst sich eine Systemgröße mit kurzer Reaktionszeit selbst.

Bei der Anpassung, der eine mittlere Reaktionszeit zuzuordnen ist, werden Parameter des Systems verändert.



**Abbildung 2-5: Systemebenen (verändert nach Bossel 2004, S. 46).**

Auf den bisher beschriebenen Ebenen bleibt die Struktur des Systems unverändert. Erst bei der Selbstorganisation tritt ein Strukturwandel im System ein. Dabei ist das Ziel der Selbstorganisation der Erhalt der Systemidentität. Eine Fähigkeit zur Selbstorganisation ist nicht allen Systemen gegeben, sie ist jedoch insbesondere in sozialen Systemen anzutreffen. Als Beispiel aus dem wirtschaftlichen Bereich kann die Umstrukturierung von Unternehmen zur Anpassung an neue Marktbedingungen genannt werden, die eine Änderung der Systemstruktur mit sich bringt (vgl. Bossel 2004, S. 47).

Auf noch langfristigerer Ebene können sich bei einer Evolution die Identität des Systems, sowie „Funktions- und Systemzweck mit der Zeit [verändern]“ (Bossel 2004, S. 47). Dieser Wandel ist als langfristige Reaktion auf Umwelthanforderungen bei biologischen, aber beispielsweise auch bei technischen Systemen zu beobachten:

Der Wandel von der Pferdekutsche zum PKW ist ein Beispiel aus dem individuellen Personentransport, bei dem die Systemintegrität über Generationen gewahrt, der Systemzweck jedoch deutlich verändert wurde (vgl. ebd.).

Die langfristige Zeitskala findet sich im Vorgang der Leitwertabstimmung: In Anpassung an eine unsichere Umwelt muss sich ein System zur „langfristige[n] Erhaltung und Entfaltung“ (Bossel 2004, S. 47) an äußere Erfordernisse und Leitwerte anpassen.

### 2.1.6 Systemkonzepte nach Ropohl

Ropohl differenziert ausgehend von der Allgemeinen Systemtheorie drei verschiedene Systemkonzepte, die in Abbildung 2-6 dargestellt sind.

Das funktionale Systemkonzept (Abbildung 2-6 oben) umfasst Zusammenhänge zwischen Systemeigenschaften von außen (vgl. Ropohl 1999, S.75, Bossel 2004, S. 27). In dieser Betrachtungsform lässt sich die „Verfassung des Systems“ (Ropohl 2009, S. 75) durch Eingangs- und Ausgangsgrößen, sowie Systemzustände beschreiben. Ein funktionales Systemkonzept entspricht häufig den Anforderungen der Praxis:

*„In der Praxis interessieren Aussagen über das Verhalten des Systems, d.h. über vom System verursachte, in seiner Umwelt beobachtbare Veränderungen systemeigener Größen [...]“ (Bossel 2004, S. 37).*

Ein explizites Verständnis von Wirkungszusammenhängen ist beim funktionalen Systemkonzept nicht notwendig. Als Anwendungsbeispiel für eine funktionale Systemsicht kann die Nutzung technischer Gegenstände durch Anwender aufgeführt werden: Für sie ist das Verhalten der „Ganzheit in ihrer Umgebung“ (Ropohl 1999, S.75) von Interesse; die Wirkungszusammenhänge innerhalb des Sachsystems müssen hierzu nicht bekannt sein. Das funktionale Systemkonzept wird in der Systemmodellierung auch als *Black Box* bezeichnet (vgl. Bossel 2004, S. 52, Ropohl 1999, S.75).

Demgegenüber repräsentiert die Strukturbetrachtung die Innenseite des Systems (vgl. Ropohl 1999, S.75ff.): Mit dem strukturalen Systemkonzept (vgl. Abbildung 2-6 Mitte) wird das System als „eine Ganzheit miteinander verknüpfter Elemente“ (ebd., S. 75) angesehen. Hierbei werden die „Vielfalt möglicher Beziehungsgeflechte“ (ebd.), sowie die „Beschaffenheit der Elemente“ (ebd., S.72) berücksichtigt:

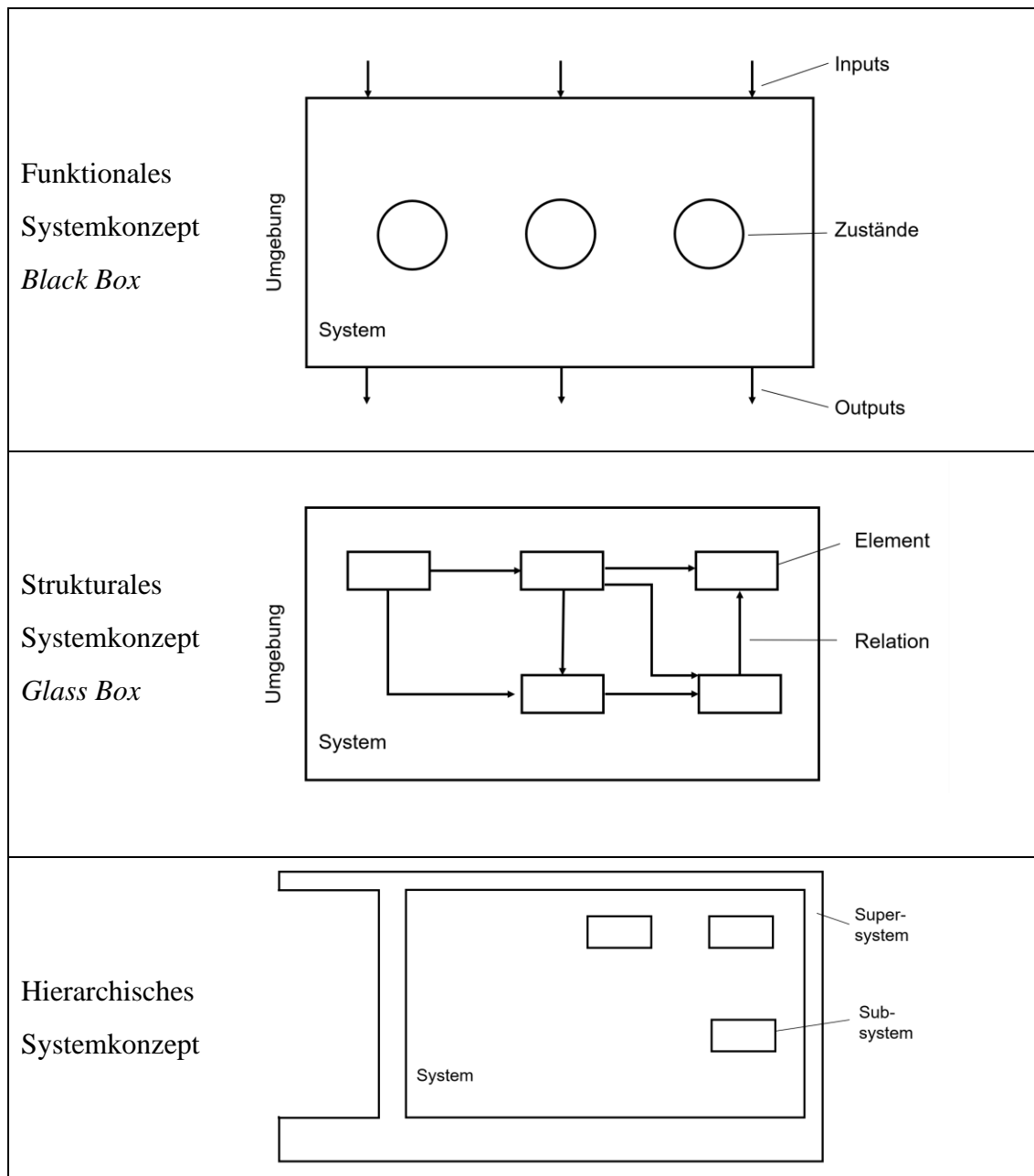


Abbildung 2-6: Systemkonzepte der Allgemeinen Systemtheorie (eigene Abbildung verändert nach Ropohl 2005, S. 27).

Gemäß dem Grundverständnis der AST sind die Relationen, sowie daraus resultierende Abhängigkeiten für das System konstituierend.

In der Modellierung werden strukturbasierte Ansätze auch als *Glass Box*-Modellierung bezeichnet, da sie einen Einblick in die Wirkungsmechanismen des Systems erlauben. Die Wirkungsstruktur des Originalsystems ist in diesem Fall dem Systemzweck entsprechend strukturtreu abgebildet (vgl. Bossel 2004, S. 53). Dann kann die Dualität zwischen Struktur und Funktion eingesetzt werden, um ein „Modell des Verhaltens“ (Ropohl 1999, S.80) zu entwickeln und verhaltensklärende Systemmodelle zu erzeugen.

Schließlich ermöglicht es das hierarchische Systemkonzept (vgl. Abbildung 2-6 unten), Systemteile wieder als Systeme anzusehen oder ein System eingebettet in ein umfassenderes System zu betrachten:

*„Bewegt man sich in der Hierarchie abwärts, so erhält man eine detailliertere Erklärung des Systems, während man, wenn man sich in der Hierarchie aufwärts bewegt, ein tieferes Verständnis seiner Bedeutung gewinnt.“ (Ropohl 1999, S.77).*

Beispielsweise unterscheidet Ropohl in seiner Allgemeinen Technologie im Kontext sozio-technischer Systeme hierarchische Verflechtung auf gesellschaftlicher, institutioneller und individueller Ebene (vgl. Kapitel 5.3, Ropohl 1999, S. 244).

In Ropohls integrativem Verständnis umfasst der Systembegriff alle drei aufgezeigten Systemkonzepte (vgl. Ropohl 1999, S. 75).



## 2.2 Modelle

Modelle sind weit verbreitet:

*„In fast allen wissenschaftlichen Disziplinen dienen Modelle als Mittel des Erkenntnisgewinns“  
(Dutke 1994, S.4).*

Sie können wie folgt beschrieben werden:

*„Ein Modell ist immer eine vereinfachte Beschreibung eines wirklichen Systems [...]. Ein Modell ist also ein Konzept, mit dem ein kompliziertes System vereinfacht dargestellt werden kann. [...]. Modelle werden überall eingesetzt, sei es als physikalische Modelle [...] oder als rein gedankliche Konstrukte“ (Imboden 2003, S. 7).*

### 2.2.1 Allgemeine Modelltheorie nach Stachowiak (AMT)

Die „Allgemeine Modelltheorie“ (Stachowiak 1973, S. 173ff.) charakterisiert allgemeine Eigenschaften von Modellen über drei Merkmale: das Abbildungsmerkmal, das Verkürzungsmerkmal, sowie das pragmatische Merkmal.

#### 2.2.1.1 Abbildungsmerkmal

*"Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können“ (Stachowiak 1973, S. 131).*

Als Originale kommen dabei Symbole, Vorstellungen, Begriffe oder physische Objekte infrage. Mit der Abbildung werden Modellattribute zu Originalattributen zugeordnet (vgl. Stachowiak 1973, S. 131). Insbesondere folgt aus dem Abbildungsmerkmal, dass Modell und Original nicht identisch sind.

#### 2.2.1.2 Verkürzungsmerkmal

In Modellen wird nur eine Untermenge aller Attribute des Originals erfasst. Nur Attribute, die für Modellerschaffer oder -nutzer relevant sind, werden abgebildet. Die Auswahl von Attributen erfolgt nach Stachowiak „von regellos zufällig bis zweckbestimmt“ (Stachowiak 1973, S. 132).

Während bei der Konstruktion von Modellen Attribute des Originals auf das Modell übertragen werden, findet in der Wissensvermittlung eine Übertragung von Modellattributen auf das Original statt (vgl. Dutke 1994, S. 5). Da dem Modellkonstrukteur Attribute des Originals bekannt sein können, die der Modellnutzer nicht kennt, liegt zwischen den Attributen des Modells und des Originals zumindest teilweise eine Asymmetrie vor. Daraus folgt, dass „es unterschiedliche Modelle des gleichen Originals geben kann, die sich hinsichtlich der abgebildeten Attribute unterscheiden“ (Dutke 1994, S. 4, siehe auch Kapitel 2.2.2). Hieraus ergibt sich das pragmatische Merkmal als dritte Modelleigenschaft.

### 2.2.1.3 *Pragmatisches Merkmal*

Gemäß dem Verkürzungsmerkmal können für ein Original mehrere Modelle existieren. Somit gibt es keine eindeutige Zuordnung zwischen Modell und Original:

*"Modelle sind ihren Originalen per se nicht eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen."* (Stachowiak 1973, S. 132f.)

Stachowiak spricht hierbei von einer dreifachen pragmatischen Relativierung:

*„Modelle sind nicht nur Modelle von etwas. Sie sind auch Modelle für jemanden [...]. Sie erfüllen dabei ihre Funktionen in der Zeit, innerhalb eines Zeitintervalls. Und sie sind schließlich Modelle zu einem bestimmten Zweck.“* (Stachowiak 1973, S. 133).

Modelle ermöglichen somit keine absolute Erkenntnis, sondern besitzen einen Individuenbezug, eine beschränkte Geltungsdauer und sind an einen Zweck gebunden.

Die pragmatische Relativierung von Modellen wird anhand des folgenden Beispiels verständlich: Ein Schaltplan kann für eine\*n Ingenieur\*in das Gerät „ersetzen“, da er die Symbolik und das Originalsystem kennt. Für einen Unterstufenschüler bringt der Plan jedoch nicht denselben Nutzen (Individuenbezug). Mit zunehmender technischer Bildung kann sich ein veränderter Nutzen für den Schüler ergeben. Es ist also eine zeitliche Veränderung des Anwendungszwecks möglich. Die Ersetzungsfunktion des Schaltplans bleibt dabei jedoch im Anwendungszweck begrenzt: Beispielsweise ist die Gerätebedienung mit dem Schaltplan nicht erlernbar (vgl. Dutke 1994, S.4f.) und stellt auch nicht den Anwendungszweck des Schaltplans dar.

Dutke unterscheidet weiterhin Erkenntnisgewinn und Kommunikation als Zwecke von Modellen: „Auf allgemeinsten Ebene können sie [die Modelle] als erkenntnisgewinnend und kommunikativ bezeichnet werden“ (ebd., S. 5).

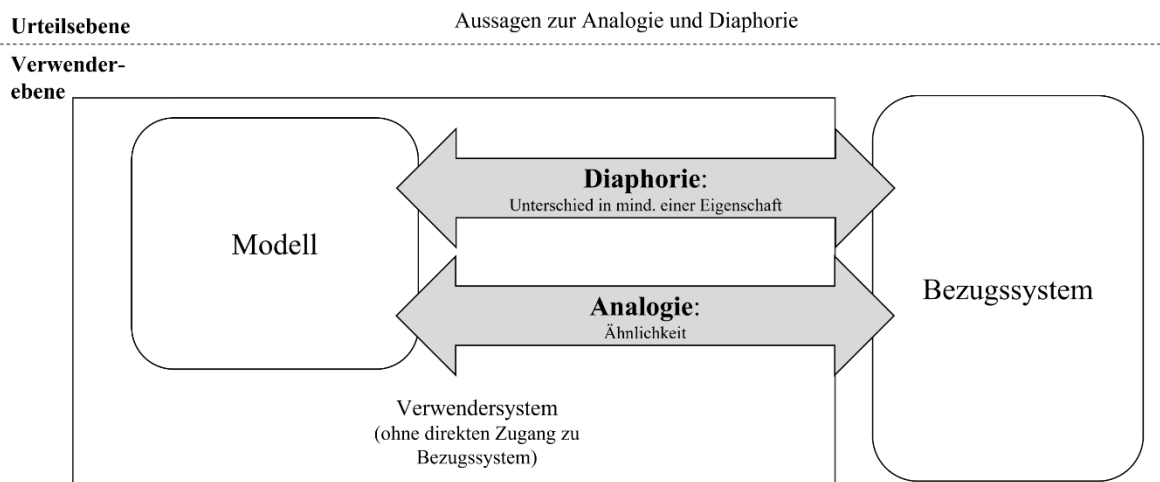
Beispielsweise kann die Simulation eines Produktherstellungsprozesses für eine planende Person dazu dienen, Kosten-Nutzungsverhältnisse verschiedener Produktionsmethoden gegenüberzustellen. Während in diesem Fall der Zweck im Erkenntnisgewinn liegt, kann die Simulation in anderem Zusammenhang auch mit kommunikativem Ziel eingesetzt werden, beispielsweise, indem sie anderen Personen vorgeführt wird, um Prozesseigenschaften weiterzugeben (vgl. ebd.). Urheber und Rezipienten nutzen die Simulation also in unterschiedlicher Form. Der Individuenbezug von Modellen impliziert allgemein, „daß ein gegebenes Modell nicht für alle Individuen von gleichem Nutzen ist“ (ebd., S. 6).

Insbesondere folgt, dass der „Urheber eines Modells als aktives Individuum in die Betrachtung [einzubeziehen ist]“ (ebd.) da seine Kompetenz und subjektive Wahrnehmung des Originals die Modellierung beeinflussen und eine Perspektivität mit sich bringen kann (vgl. auch Oberquelle 1984). Für den Anwendungskontext der Softwareentwicklung beispielsweise beschreibt Dutke, dass Modellurheber sich mit der Sichtweise der Benutzer auseinandersetzen soll:

„[...] Personen, die in irgendeiner Weise die Interaktion zwischen Menschen und technischen Systemen gestalten, [können] davon profitieren [...], sich mit grundlegenden Eigenschaften mentaler Modelle von Benutzern vertraut zu machen. Konstrukteure technischer Systeme, Organisatoren oder Ausbilder können sich diese Kenntnisse zunutze machen, um mentale Modelle von Benutzern entweder gezielt zu beeinflussen oder bei der Gestaltung von Werkzeugen und Arbeitssituationen gezielt zu berücksichtigen [...]. (Dutke 1994, S. 7ff.)

### 2.2.2 Allgemeine Modellsituation

Aufbauend auf der Allgemeinen Modelltheorie nach Stachowiak unterscheidet Neugebauer im Kontext didaktischer Situationen zwei notwendige Charakteristika von Modellen. Diese fasst er in einer „allgemeinen Modellsituation“ zusammen (vgl. Abbildung 2-7):



**Abbildung 2-7: Allgemeine Modellsituation (eigene, vereinfachte Darstellung in Anlehnung an Neugebauer 1980, S. 56).**

Ein Verwendersystem kann zweckmäßig mit einem Modell Aussagen über ein nicht direkt zugängliches Bezugssystem, das „Original“, treffen, wenn Modell und Original sich in mindestens einer Eigenschaft unterscheiden. Dies bezeichnet Neugebauer als Diaphorie. Damit diese Aussagen fruchtbar sind, muss ein ausreichendes Maß an Analogie zwischen Modell und Bezugssystem vorliegen.<sup>7</sup>

Weiterhin unterscheidet Neugebauer zwei Ebenen des Modelleinsatzes: Neben der Verwender-ebene gibt es die Urteilstebene, auf der Aussagen über die Analogie und Diaphorie, und somit über die Eignung von Modellen getroffen werden (vgl. Neugebauer 1980, S. 59ff.).

<sup>7</sup> Bei der Beschreibung des Lernprozesses über mentale Modelle wird vorwiegend auf die Eigenschaft der Analogie im Sinne einer strukturellen Ähnlichkeit hingewiesen. Die Diaphorie wird selten explizit benannt, aber durch Beschreibung des verkürzenden Charakters mentaler Modellen impliziert (vgl. Kapitel 4.2).

### 2.2.3 *Bedeutung der AMT für die vorliegende Studie*

Die Allgemeine Modelltheorie zeigt auf, dass es für dieselbe Situation oder Problemstellung verschiedene Modelle geben kann. Insbesondere beschreibt das pragmatische Merkmal der AMT den Kontextbezug und die begrenzte Gültigkeit von Modellen. Hieraus ergibt sich eine aktive Rolle der Modellierenden in der Darstellung des betrachteten Systems. Für Lernende bedeutet dies auch, dass sie ihre Verantwortung als Modellierende und damit Urheber\*innen eines Modells reflektieren können, wenn sie die Urteilstebene einer Modellsituation betreten.

In der System Dynamics Modellierung mit Wirkungsdiagrammen werden Modelle traditionell zunächst auf Verwendungsebene eingesetzt und Modellierung wird auch zunächst auf diese Ebene gelehrt. Die Urteilstebene wird gegebenenfalls in späteren Phasen des Modellierungsprozesses betreten (vgl. Kapitel 3.2). Während in dieser Ausbildungsstrategie die Beschäftigung mit der Ergebnisoffenheit bzw. Kontingenz von Modellierungsprozessen für Anfänger\*innen zunächst nicht vorgesehen ist (vgl. Kapitel 4.3.3), fordern die Qualifikationsziele der Kultusministerkonferenz (KMK), dass in der Hochschulausbildung spätestens auf Masterniveau die Urteilsfähigkeit der Lernenden gestärkt werden soll (vgl. Kapitel 4.5). Die Bedeutung eines Lernkonzeptes der Systemmodellierung, das sich von der Referenz einer Musterlösung bei der Modellierung löst und verschiedene Lösungsansätze zur Modellierung eines Systems zulässt, wird insbesondere deutlich, wenn Mehrperspektivität in der Modellierung zugelassen bzw. gefördert wird (vgl. Kapitel 5).

Neben der Vorstellung der Systemmodellierung in Kapitel 3 werden bildungswissenschaftliche Studien zur Untersuchung des Systemdenkens in der Tradition der System Dynamics Modellierung vorgestellt. Zudem wird Modellierung auch im Kontext einer konstruktivistischen Hochschuldidaktik beleuchtet, um einen theoretischen Rahmen für eine mehrperspektivische Betrachtung von Systemen durch Systemmodellierung zu entwickeln (vgl. Kapitel 4). Nach der Charakterisierung von Mehrperspektivität in Kapitel 5 werden in Kapitel 6 die Forschungsfrage und das Forschungsdesign für die empirische Studie formuliert, die im weiteren Verlauf der Arbeit dargestellt ist.

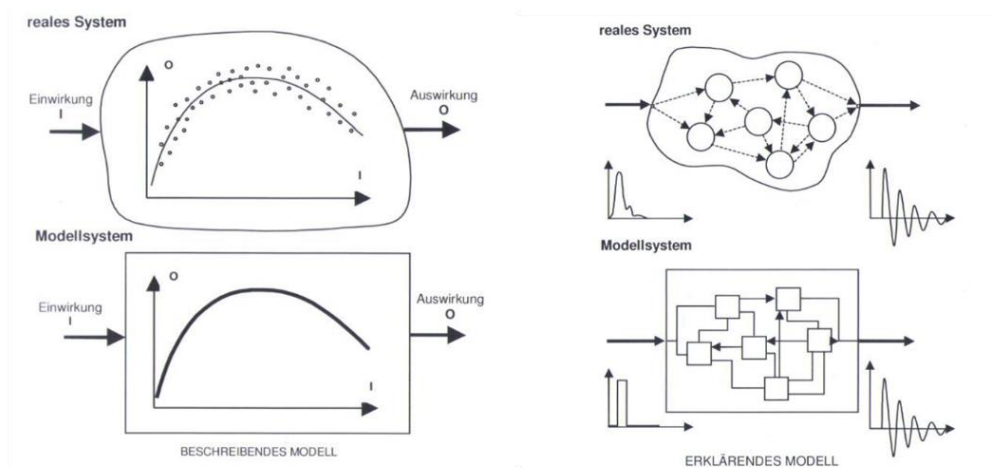
### 3 Systemmodellierung

„Die Grundvorstellungen moderner Systemwissenschaften basieren auf der Annahme, dass es sich sowohl bei natürlichen als auch bei sozialen Systemen um nicht-lineare, dynamische Systeme handelt [...].“ (Egner et al. 2008, S. 11)

Die in der vorliegenden Studie betrachtete Systemmodellierung basiert auf einem strukturalen Systemkonzept (vgl. Kapitel 2.1.6). Sie geht vom Grundsatz aus, dass die Struktur eines Systems sein Verhalten und insbesondere seine zeitliche Dynamik beeinflussen. Dementsprechend kann ein Verständnis der Systemstruktur ein Verständnis für das Systemverhalten fördern (vgl. Bossel 2004, S. 55ff.). In diesem Kapitel wird zunächst der Begriff der Systemmodellierung eingeführt und für den Einsatz in der weiteren Studie präzisiert. Es werden verschiedene Formen der Systemmodellierung beschrieben, insbesondere die für die vorliegende Studie zentrale Modellierung mit Wirkungsdiagrammen.

#### 3.1 Formen der Systemmodellierung

Systeme lassen sich durch verhaltensbeschreibende und durch verhaltenserklärende Ansätze modellieren (vgl. Abbildung 3-1).



**a) verhaltensbeschreibende Modellbildung basierend auf bekanntem Systemverhalten**

**b) verhaltenserklärende Modellbildung basierend auf der Systemstruktur**

**Abbildung 3-1: Vergleich von Modellierungsstrategien (Bossel 2004, S. 55).**

Bei verhaltensbeschreibenden Modellen (vgl. Abbildung 3-1a) wird ein *Black Box*-Modell erstellt, welches bekanntes Systemverhalten abbildet, indem der Zusammenhang zwischen Input- und Outputgrößen modelliert wird. Ein bekanntes Beispiel für verhaltensbeschreibende Modellierung sind Korrelationsanalysen in der Statistik: Eine Korrelation zwischen zwei Größen zeigt Ähnlichkeiten im Verhalten zweier Größen auf, erlaubt aber keine Aussage über direkte kausale Zusammenhänge

(vgl. Altman und Krzywinski 2015). Da verhaltensbeschreibende Modelle basierend auf bekannten Verhaltensmustern erstellt werden, sind sie wenig robust gegenüber Veränderungen.

Demgegenüber wird bei verhaltenserklärenden Modellen die essenzielle Wirkungsstruktur des Systems ermittelt (vgl. Abbildung 3-1b). Über Zusammenhänge zwischen Systemgrößen kann auf das Systemverhalten und mögliche zeitliche Entwicklungspfade geschlossen werden, da gleiche Strukturen, unabhängig vom thematischen Kontext, gleiches Verhalten hervorrufen (vgl. Archetypen in Kapitel 3.2.4). Verhaltenserklärende Modellierung hilft insbesondere dabei, Systeme mit komplexer Struktur und komplexem Verhalten zu verstehen, wie sie in der vorliegenden Studie durch Studierende betrachtet werden.

### **3.2 Systemmodellierung mit System Dynamics**

System Dynamics (SD) greift als verhaltenserklärender Modellierungsansatz auf drei Konzepte zurück, um ein Verstehen komplexer Systeme mit ihrem oft kontraintuitivem Verhalten zu ermöglichen (vgl. Lane 2000, S. 4):

- 1) In der Systemstruktur werden Rückkopplungsschleifen identifiziert.
- 2) Über Computersimulationen wird nicht-intuitives Systemverhalten dargestellt, das Menschen nur schwer erfassen können.<sup>8</sup>
- 3) Es findet eine Auseinandersetzung mit den „mental Modellen“ statt, welche die Vorstellungen der Beteiligten widerspiegeln (vgl. Kapitel 4.2).

Mit der Systemmodellierung (und ggf. anschließender Systemsimulation) können Eingriffs- oder Hebelpunkte identifiziert werden, die einen Ausgangspunkt zur Lenkung von Systemen bilden (vgl. Meadows und Wright 2009, 145ff.). Als verhaltenserklärende Form der Modellbildung werden bei der Systemmodellierung Wirkungszusammenhänge zwischen Modellgrößen ermittelt. Hierzu stehen verschiedene Darstellungsformen zur Verfügung: Während Wortmodelle aufgrund der linearen Struktur von Texten eine lineare Darstellung bedeuten und somit vernetzte Zusammenhänge nicht ideal abbilden können, sind formelbasierte Modelle abstrakt und oft nicht für alle Beteiligten zugänglich. Zwischen diesen beiden Polen werden Strukturdarstellungen wie Stock-Flow-Diagramme und Zeitdiagramme eingesetzt, um Vernetzung darzustellen (vgl. Abbildung 3-3, Meadows et al. 2019, S. 43).

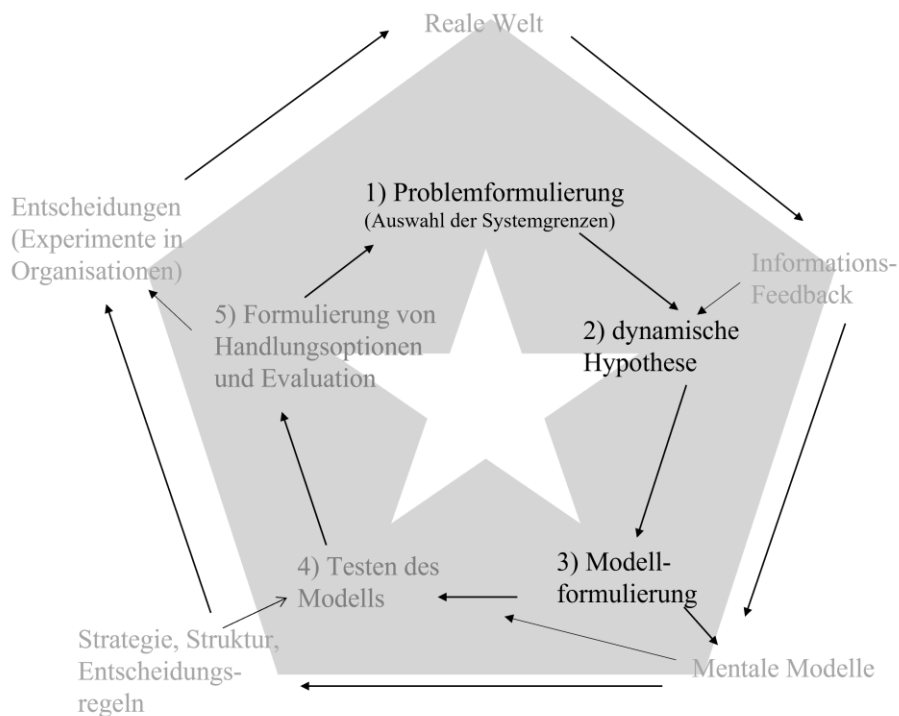
Die folgende Beschreibung der Modellierung von Systemstrukturen erfolgt in Anlehnung an Ossimitz (2000) und Serman (2000).

---

<sup>8</sup> Die vorliegende Studie beschränkt sich auf die Systemmodellierung ohne Einsatz einer Computersimulation.

### 3.2.1 Systemmodellierung als zyklischer Prozess

Der Zyklus der System Dynamics Modellierung ist in Abbildung 3-2 dargestellt. Es handelt sich um ein iteratives Vorgehen, bei dem ausgehend von der Formulierung und Abgrenzung eines Problems eine dynamische Hypothese formuliert wird. Sie bildet die Grundlage zur Entwicklung eines Systemmodells. Die Phasen 1 bis 3 des Prozesses werden typischerweise im Rahmen von einführenden Lehrveranstaltungen behandelt (vgl. Schaffernicht und Groesser 2016, S. 61ff.).



**Abbildung 3-2: Iterativer Charakter des Modellierungsprozesses (eigene Darstellung in Anlehnung an Sterman 2000, S. 88).**

Findet die Modellierung für ein Realsystem statt, das durch die Modellierungserkenntnisse verändert werden soll, so werden nach einer Testphase und Erkennung möglicher Hebelpunkte Eingriffsmöglichkeiten ins System formuliert. Der Einfluss der Eingriffe auf das System kann in einem erneuten Modellierungszyklus untersucht werden. Der Abgleich von Modellierung und Realwelt erfolgt im Informationsaustausch mit Beteiligten, wobei die Modellierung dazu beitragen kann, die mentalen Modelle verschiedener Beteiligten zu verstehen, darzustellen oder zu verändern (vgl. Kapitel 4.2.2), um die Entscheidungsfindung in komplexen Situationen zu erleichtern.

Auch in der Lehre sollen durch Systemmodelle Vorstellungen der Lernenden verändert werden:

*“Indeed, the goal of most educational interventions based on systems thinking, [...] or system dynamics model building is to change or improve mental models in order to improve the quality of dynamic decisions“ (Doyle und Ford 1998, S. 4).*

Bei effektiver Modellierung wird zwischen den Experimenten und Lernprozessen in der modellierten Welt (innerer Kreis in Abbildung 3-2) und der realen Welt (äußerer Kreis in Abbildung 3-2) gewechselt (vgl. Sterman 2000, S. 87ff.). So erfolgt die Umsetzung von Lösungsansätzen, die über Modellierung erarbeitet werden, im Austausch mit der realen Welt, wobei die Übernahme, Neupriorisierung oder Zusammenführung von Perspektiven verschiedener Akteure nötig sein kann (vgl. Bertschy Kaderli 2007, S. 32, Kapitel 5). Da eine Rückwirkung von Erkenntnissen auf die Problemformulierung stattfindet, ist die Hypothese, welche der Modellierung zugrunde liegt, als „dynamische“, zeitlich veränderliche Hypothese zu verstehen.

Eine Zielsetzung des Modellierungszyklus besteht darin, im Modell Hebel- oder Eingriffspunkte zu identifizieren, mit denen das Systemverhalten beeinflusst werden kann, und daraus Schlussfolgerungen für das Realsystem zu ziehen. Dabei können Systemmodelle auch dazu dienen, Entscheidungsträger und andere Beteiligte von Veränderungsmöglichkeiten zu überzeugen und Widerständen entgegenzuwirken:

*„If people had a holistic worldview, it is argued, they would then act in consonance with the long-term best interests of the system as a whole, identify the high leverage points in systems, and avoid policy resistance” (Sterman 2000, S. 4).*

In der vorliegenden Studie liegt der Schwerpunkt der Modellierung auf den Schritten 1 bis 3 des Modellierungszyklus, die auch dann durchführbar sind, wenn eine Beeinflussung eines Realsystems nicht unmittelbar möglich oder bezweckt ist.

### 3.2.2 Darstellungsformen für Systemmodelle

Ausgangspunkt der Systemmodellierung ist die Bestimmung der Wirkungsbeziehungen oder Relationen, welche Ursache-Wirkungszusammenhänge abbilden (vgl. Abbildung 3-1b). Hierbei werden nur direkte Wirkungen berücksichtigt und jede Wirkungsbeziehung wird isoliert betrachtet, „als ob der restliche Teil des Systems ‚eingefroren‘ wäre“ (Bossel 1994, S. 51).

Ossimitz unterscheidet vier Stufen der Darstellung, die sich alle in der Sprache von System Dynamics wiederfinden und im Folgenden beschrieben werden (vgl. Abbildung 3-3).

- 1) Verbal können Systeme über Wortmodelle dargestellt werden.
- 2) Bei Wirkungsdiagrammen werden Relationen zwischen Modellgrößen über Pfeile dargestellt.
- 3) Flussdiagramme berücksichtigen den unterschiedlichen Charakter zwischen Bestandsgrößen (Stocks) und Flussgrößen (Flows).
- 4) Die Modellierung in Gleichungen stellt eine quantitative Form zur Beschreibung von Systemen dar. Zeitveränderliche Systeme werden über Differentialgleichungen modelliert.



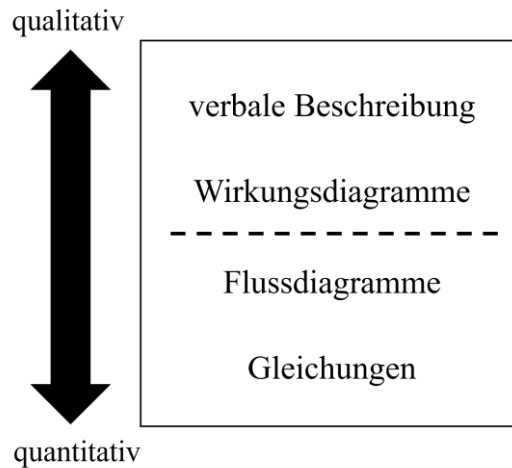


Abbildung 3-3: Vier Stufen der Darstellung von Systemen (verändert nach Ossimitz 2000, S. 79).

#### *Verbale Beschreibung: Wortmodell*

Wirkungszusammenhänge in Textform können als Wortmodelle durch Implikationen der Form *Wenn... so ...* oder *je... desto..* formuliert werden. So lässt sich feststellen, ob gleichgerichtete oder einander entgegengerichtete Wirkungsbeziehungen vorliegen. Hierbei sind jeweils zwei Argumentationsrichtungen möglich:

**A ↗ B** Wenn A steigt, so steigt auch B.      oder      Wenn A sinkt, so sinkt auch B.

**A ↘ B** Wenn A steigt, so sinkt B.      oder      Wenn A sinkt, so steigt B.

Wortmodelle sind linear. Sie werden eingesetzt, um die Polarität von Wirkungsdiagrammen zu testen und ermöglichen es, zum Beispiel in Berichten, Systemmodelle aus anderen Darstellungsformen verbal zu beschreiben.

#### *Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen*

Wirkungsdiagramme bestehen aus Modellgrößen, sowie Pfeilen, welche die Relationen zwischen Systemgrößen visualisieren. Bei der Abbildung der Systemstruktur (Phase 3 im Modellierungszyklus in Abbildung 3-2) soll Strukturgültigkeit erreicht werden, damit in dem Modell ausreichend zuverlässige Aussagen über das Systemverhalten getroffen werden können.

Die Schritte zur Erstellung von Wirkungsdiagrammen sind im Folgenden dargestellt.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Da Modellbildung zyklisch erfolgt, werden die Schritte nicht unbedingt in dieser Reihenfolge durchlaufen (vgl. Abbildung 3-2).

1) Wirkungszusammenhänge sind vernetzt

Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge treten in der Regel nicht im 1:1-Verhältnis, sondern vernetzt auf (vgl. Abbildung 3-4).

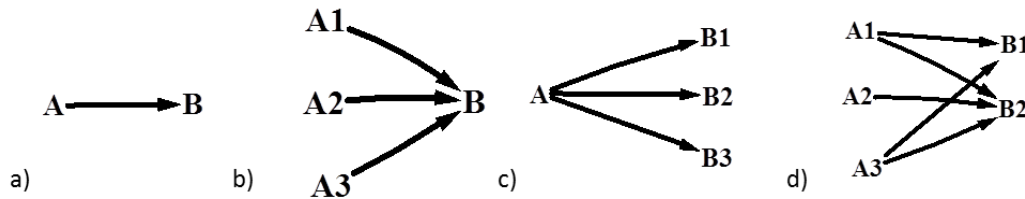


Abbildung 3-4: Beispiele für einfache und vernetzte Wirkungsbeziehungen a) 1:1 Relation, b) 1:n-Relation c) m:1-Relation, d) m:n-Relation.

2) Relationen sind meist nichtlinear

In komplexen Systemen erzeugt X-fache Ursache im Normalfall keine X-fache Wirkung. Stattdessen bestehen häufig nichtlineare Zusammenhänge. Diese können strukturell über Vernetzungen oder Rückkopplungen von Systemelementen erklärt werden. Wenn lineare Beziehungen vorliegen (oder vorzuliegen scheinen), so ist ihre Gültigkeit häufig auf einen kleinen zeitlichen oder räumlichen Bereich eingeschränkt (vgl. Lunze 2013, S. 39ff.).

3) Wirkungsbeziehungen kann eine Polarität zugewiesen werden

Man unterscheidet zwischen gleichgerichteter (positiver), entgegengerichteter (negativer) und uneindeutiger (indifferenter) Polarität von Relationen. Positive und negative Polarität beschreiben eine gleichgerichtete oder entgegengerichtete Wirkung und werden mit den Symbolen + beziehungsweise – am Relationspfeil symbolisiert (vgl. Tabelle 3-1).

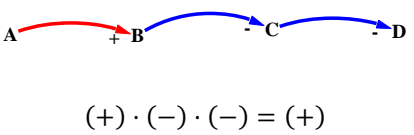

Tabelle 3-1: Polaritäten verschiedener Wirkungsbeziehungen mit symbolischer und verbaler Darstellung.

Bezeichnung	Symbolische Darstellung	Verbalisierung
positive Relation gleichgerichtet		Wenn A steigt/wächst, so steigt/wächst auch B. Wenn A sinkt/fällt so sinkt/fällt auch B.
negative Relation entgegengerichtet		Wenn C steigt/wächst, so sinkt/fällt D. Wenn C fällt/sinkt, so steigt/wächst D.
indifferente Relation		Wirkrichtung nicht eindeutig. Dies lässt sich häufig auflösen, indem der Kontext spezifiziert wird (direkte Wirkungsbeziehungen wählen oder Systemgrenzen genauer definieren).

4) *Wirkungsketten: Hintereinanderschalten von Relationen*

Wirkungsketten stellen die Verallgemeinerung von Relationen dar. Die Polarität einer Wirkungskette, d.h. die Wirkung des ersten Elements auf das letzte Element der Kette lässt sich bestimmen, indem die Vorzeichen der Kette miteinander multipliziert werden. Zum Verständnis der Systemstruktur wird der „lange Weg“ über die Wirkungskette mit direkten Relationen betrachtet, um aufzuzeigen, welche Systemelemente an der resultierenden Relation beteiligt sind (vgl. Tabelle 3-2).

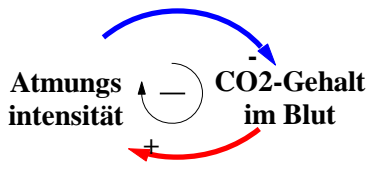
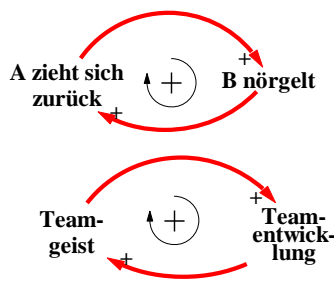
**Tabelle 3-2: Wirkungsketten und ihre Beschreibung.**

Bezeichnung	Symbolische Darstellung	Verbalisierung
Direkte Wirkungskette	 <p style="text-align: center;"> <math>(+) \cdot (-) \cdot (-) = (+)</math> </p>	<p>Steigt A, so steigt auch B. Steigt B, so sinkt C. Sinkt C, so steigt D.</p>
Resultierende indirekte Wirkung		<p>Steigt A, so steigt auch D.</p>

5) *Rückkopplungen erzeugen nichtlineares Verhalten*

Nichtlineares Verhalten ist häufig auf Rückkopplungen zurückzuführen. Eine Rückkopplung liegt vor, wenn ein Systemelement, ggf. über weitere Elemente, auf sich selbst zurückwirkt. Auch Rückkopplungen kann eine Polarität zugewiesen werden, die analog zur resultierenden Polarität einer Wirkungskette bestimmt wird (vgl. Tabelle 3-3).

**Tabelle 3-3: Klassifizierung von Rückkopplungen.**

Bezeichnung	Darstellung der Rückkopplung	Beispiel
Negative Rückkopplungen wirken stabilisierend (balancing loop)		<p>Die Atmungsintensität reguliert sich über den CO2-Gehalt im Blut selber, so dass ein Gleichgewicht angestrebt wird.</p>
Positive Rückkopplung wirken selbstverstärkend (reinforcing loop)		<p>„Teufelskreis“ bei Beziehungsproblemen  virtuous circle („Engelskreis“) der Teamentwicklung</p>

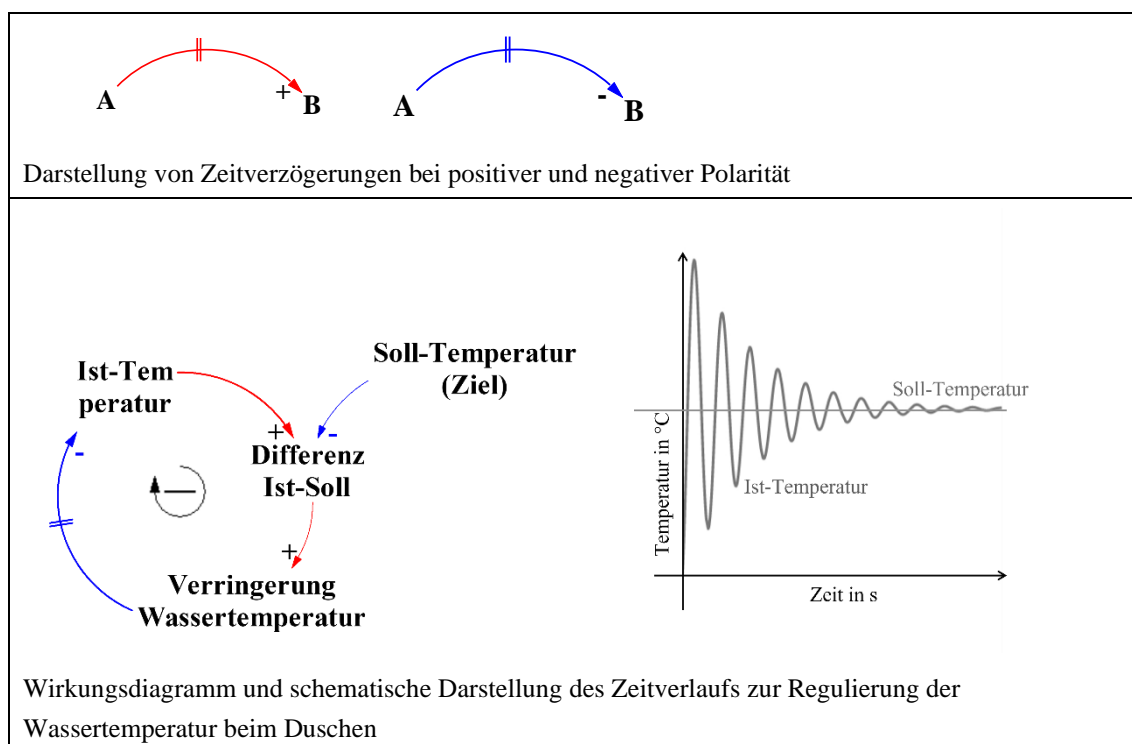
Innerhalb der Rückkopplungen bezeichnen die Symbole + und – die Wirkrichtung der Rückkopplung. Wie die Beispiele „Teufelskreis“ und „Engelskreis“ in Tabelle 3-3 zeigen, tragen diese Symbole eine strukturelle Bedeutung, um Wirkrichtungen anzuzeigen, sind jedoch nicht inhaltlich zu interpretieren.

6) *Zeitverzögerungen und Zielvorgaben bzw. Grenzen beeinflussen das Systemverhalten*

Verzögerungen (engl. *delays*) im Informations- und im Materialfluss können das Verhalten von Systemen bedeutend beeinflussen und nichtlineare Phänomene, insbesondere Schwingungen, verursachen. Schwingungen treten beispielsweise dann auf, wenn ein Ziel erreicht (oder eine Schranke bzw. Kapazitätsgrenze eingehalten) werden soll, der Abgleich zwischen Ist- und Sollzustand jedoch zeitverzögert erfolgt.

Zeitverzögerungen werden durch doppelt gestrichene Relationspfeile markiert (vgl. Tabelle 3-4 oben). In Tabelle 3-4 unten ist eine zeitverzögerte Rückwirkung am Beispiel der Temperaturanpassung beim Duschen über einen Wasserhahn dargestellt.

**Tabelle 3-4: Zeitverzögerungen in Wirkungsdiagrammen.**



In diesem Anwendungsbeispiel sorgt die Mischtemperatur des Wassers in der Leitung dafür, dass keine direkte Anpassung der Temperatur an den Sollwert stattfindet, sondern aufgrund der Zeitverzögerung ein Überschwingen verursacht wird.

Die weiteren Darstellungsformen der Systemmodellierung, die im Folgenden nach Ossimitz (vgl. Abbildung 3-3) dargestellt sind, wurden von einigen Teilnehmenden in der empirischen Studie im Pre-Test eingesetzt (vgl. Abschnitt 6.3.2).

### *Stock-Flow-Diagramme*

Die Modellierung von Stock-Flow-Diagrammen oder Flussdiagrammen erfolgt unter der Unterscheidung von Bestandsgrößen (engl. *stocks*) und Flussgrößen (engl. *flows*). Sie stellt den Übergang zwischen qualitativer und quantitativer Modellierung dar. Anders als bei Wirkungsdiagrammen wird hierbei nach Art der Variablen unterschieden.

Bestandsgrößen wirken als Puffer im System: Sie sind zu einem beliebigen Zeitpunkt als Momentaufnahme betrachtet noch messbar. Demgegenüber stellen Flussgrößen Änderungsraten dar, die bei einer Momentanbetrachtung verschwinden (vgl. Ford 2010, S. 33ff., Bossel 2004, S. 85ff.). In der Stock-Flow-Darstellung werden direkte Zusammenhänge zwischen Modellgrößen abgebildet, die sich über einfache mathematische Zusammenhänge beschreiben lassen. Somit sind Stock-Flow-Diagramme, wenn sie entsprechend parametrisiert werden, simulationsfähig und können zu Entwurf und zur Analyse von Systemen eingesetzt werden (vgl. Bossel 2004, S. 229ff.).<sup>10</sup>

### *Modellierung in Gleichungen*

Die Ursprünge der Systemwissenschaften finden sich in der mathematischen Abbildung von Systemen. Eine strukturelle Ähnlichkeit, auch mit Blick auf die Komplexitätsebenen, kann mathematisch durch Isomorphie ausgedrückt werden (vgl. Müller 1996, S. 203).

Die zeitkontinuierliche Modellierung, die System Dynamics zugrunde liegt, wird mathematisch über Differentialgleichungen erreicht. Auch Stock-Flow-Diagramme lassen sich mathematisch in Differentialgleichungen überführen. Hierzu genügt es für jede einzelne Bestandsgröße, die Zusammenhänge zwischen einwirkenden Modellgrößen in Formeln zu fassen, sowie Werte wie externe Parameter festzulegen. Da immer direkte Beziehungen zwischen zwei Größen mathematisch beschrieben werden, ist die Mathematik zur Beschreibung einzelner Relationen meist einfach, wohingegen die resultierenden Differentialgleichungen analytisch schwer oder unlösbar sein können (vgl. Sterman 2000, S. 141). Software wie Vensim<sup>®</sup> ermöglicht neben der Erstellung des Stock-Flow-Diagramms auch eine Eingabe von Formeln und eine Parametrisierung des Modells. Die Lösung der Differentialgleichung wird dabei numerisch ermittelt. Durch Veränderung von Parametern können Simulationsstudien durchgeführt werden (vgl. Papula 2014, S. 273ff., Ventana Systems 2015).

---

<sup>10</sup> Auf eine Darstellung der Systemsimulation wird in dieser Arbeit verzichtet, da sie nicht Bestandteil der eigenen Studie ist.

### *Darstellung des Systemverhaltens*

Die Darstellung des Systemverhaltens erfolgt für einzelne Variablen über die Graphen der Zeitverläufe, die auch als Entwicklungspfade bezeichnet werden. Charakteristisch ist bei Systemen mit Rückkopplungen, dass nichtlineare Zeitverläufe entstehen. Einige davon sind in Kapitel 3.2.4 dargestellt.

#### *3.2.3 Aussagekraft von Systemmodellen*

Systemmodellierung stellt stets eine Modellierung unter Annahmen dar (vgl. Lane 2000, S. 7f.). Die Modellierung erfolgt, besonders in gesellschaftsbezogenen Systemen, meist auf aggregierter Ebene, um grundsätzliche strukturelle Zusammenhänge abzubilden (vgl. Hayward et al. 2014, S. 6ff.). Vorhersagen, die durch Simulation eines Modells getroffen werden, sind daher immer im Kontext der Rahmenbedingungen und getroffenen Annahmen zu betrachten. Zeitverläufe von Modellgrößen sind somit trotz einer Skalierung der Achsen qualitativ zu interpretieren und bezüglich ihrer Plausibilität zu bewerten und nicht in Form einer Prognose zu verstehen (vgl. Pruyt 2013, S. 90ff.).

*“Model outcomes also need to be interpreted. In SD, outcomes are never interpreted as point or trajectory predictions – they are mostly interpreted as plausible modes of behaviors. It is extremely important to keep that in mind when communicating model behaviors or recommendations based on SD modeling. And ‘never say the model says’ (Barraba 1994, zitiert nach Pruyt 2013, S.209). Remember: models are but tools for thought.” (Pruyt 2013, S. 209).*

Trotz der begrenzten Aussagekraft von Modellierungsergebnissen können die Vorteile von Systemsimulationen gegenüber erfahrungsbasierten Experimenten wie folgt zusammengefasst werden (vgl. Müller 1996, S. 231ff.):

- In der Simulation kann eine Komplexität bewahrt werden, die in Experimenten, die konstante Rahmenbedingungen und eine begrenzte Anzahl von Variablen nicht möglich ist.
- Mit Simulationen können kontraintuitive Ergebnisse untersucht und Hypothesen dargestellt werden.
- Durch eine Zeitskala, die über ein reales Experiment hinaus geht, können Zustände antizipiert und Szenarien als Erkenntnisziel formuliert werden.

Aus der begrenzten Aussagekraft von Modellen resultiert auch, dass eine Verwechslung von Realität und Modell vermieden werden soll. Besonders gegenüber den Verwender\*innen von Modellen ist es wichtig, die Grenzen der Modellierung aufzuzeigen. So sind sich in der Regel nur erfahrene Modellierer\*innen der zugrundeliegenden Modellannahmen und Paradigmen bewusst, während Lernende der Systemmodellierung und Verwender von Modellen diese erst noch erschließen müssen (vgl. Lane 2000, S. 9, Meadows und Wright 2009, S. 162ff.). Lernende sollten also beim Erlernen von Modellierungs- und Simulationsmethoden auch den reflektierten

Umgang mit Modellen und Modellierungsergebnissen einüben. Die Auseinandersetzung mit der Aussagekraft verschiedener (qualitativer und quantitativer) Modellierungsformen, dem Unterschied zwischen Originalen und Modellen (vgl. Kapitel 2.2.1), aber auch das Vermeiden einer unbewussten perspektivischen Zubereitung des Originals (vgl. Buddensiek et al. 1980, S. 108) und die Beschäftigung mit der Kontingenz von Modellen bzw. Simulationsergebnissen können auf einer Metaebene als Lernziele der Systemmodellierung verstanden werden.<sup>11</sup>

Während die elektro-mechanischen und informationalen Relationen technischer Systeme mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten recht genau beschrieben werden können, ist eine eindeutige Parametrierung von Modellgrößen in sozialen Systemen oft nur bedingt möglich. *Soft Variables*, deren exakte Messung schwer oder unmöglich ist, können in quantitativen Modellen daher weniger genau parametrierbar sein. Trotzdem kann ihre Berücksichtigung grundlegend für das Verständnis von Systemzusammenhängen sein:

*„By their very nature soft variables, or soft concepts, are difficult or even impossible to measure; yet their inclusion in a model is often a matter of necessity, as they are known to be a part of a chain of cause and effect“ (Hayward et al. 2014, S. 1).*

Besonders bei einer mehrperspektivischen Systembetrachtung ist das Auftreten von *Soft Variables* zu erwarten. Qualitative Ansätze der Systemmodellierung wie Wirkungsdiagramme, die keinen Anspruch auf die Entwicklung genauer Zeitverläufe erheben, sondern konzeptionelle Zusammenhänge abbilden, können dazu dienen, die unterschiedlich gut messbaren Größen miteinander in Bezug zu setzen (vgl. Kapitel 3.2.4).

Für den Einsatz der Systemmodellierung bei Studierenden technischer Studiengänge können die gemeinsamen praktischen Wurzeln der Systemmodellierung in den in Abbildung 3-3 dargestellten Darstellungsformen und ingenieurwissenschaftlicher Ansätze, die verhaltensklärende Modellierung meist ausgehend von der Modellierung in Gleichungen oder Blockschaltdiagrammen realisieren, als Ausgangspunkt gesehen werden (vgl. Lane 2000, S. 14, Lunze 2013, S. 43ff.).

### 3.2.4 Systemarchetypen

Im Folgenden sind Systemarchetypen durch Gegenüberstellung von Wirkungsdiagrammen und konzeptionellen Zeitverläufen (Entwicklungspfaden)

---

<sup>11</sup> Angesichts der beschränkten Aussagekraft von Systemsimulationen bzw. der Notwendigkeit der Einordnung von Simulationsergebnissen plädiert Ossimitz (2000) für ein Erlernen von Systemdenken ohne den Einsatz von Simulationswerkzeugen (vgl. Kapitel 4.3.3).

beschrieben.<sup>12</sup> Über Systemarchetypen wird die Verbindung zwischen elementaren Modellstrukturen und zugehörigem Zeitverhalten hergestellt. Da die Entwicklungspfade aus Systemsimulationen qualitativ zu verstehen sind (vgl. Pruyt 2013, S. 90) und der Zugang zu einem Denken in Systemen durch qualitative Darstellungsformen gut erreicht werden kann (vgl. Kapitel 4.3.3), wird das Konzept der Systemmodellierung in der vorliegenden Interventionsstudie auch über Systemarchetypen eingeführt.

---

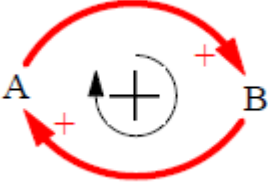
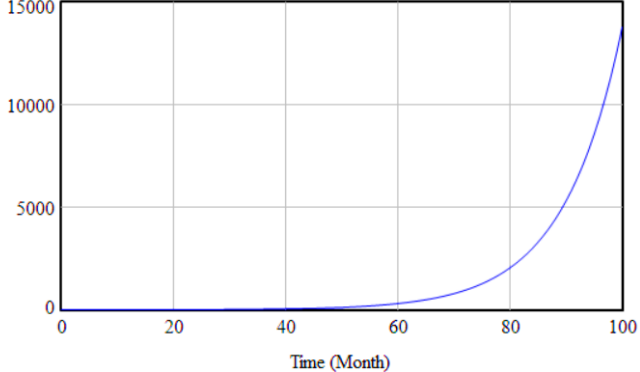
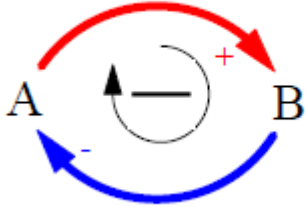
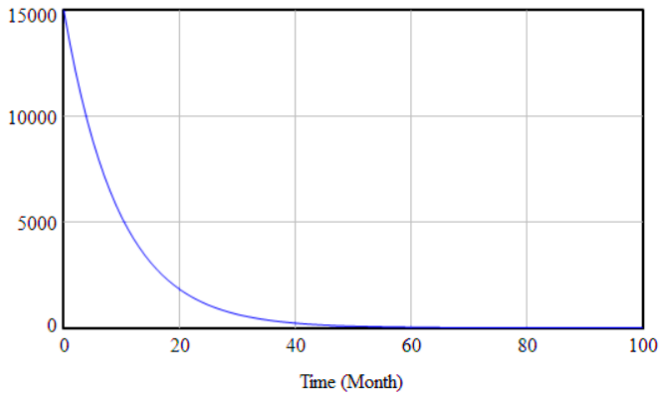
<sup>12</sup> Die Überführung in Stock-Flow-Darstellungen ist u.a. in Pruyt (2013) und Sterman (2000) dargestellt. Auch mit Stock-Flow-Diagrammen können konzeptionelle Zusammenhänge abgebildet werden (vgl. Meadows und Wright (2009), Meadows et al. (2019)).



3.2.4.1 Rückkopplungen

Selbstverstärkende und ausgleichende Rückkopplungen stellen die elementaren nichtlinearen Strukturen der Systemmodellierung dar (vgl. Tabelle 3-5).

**Tabelle 3-5: Wirkungsdiagramm und Zeitverlauf bei Systemen mit Rückkopplung.**

Systemstruktur	Zeitverlauf der Systemgröße B
<p>a) selbstverstärkende Rückkopplung (<i>Reinforcing Loop</i>)</p> 	<p style="text-align: center;">B</p> 
<p>b) ausgleichende / zielsuchende Rückkopplung (<i>Balancing Loop</i>)</p> 	<p style="text-align: center;">B</p> 

### 3.2.4.2 Gleichgewichtsprozess mit Verzögerung

In Abbildung 3-5 ist ein Systemarchetyp dargestellt, der den Gleichgewichtsprozess einer zielsuchende Rückkopplung beschreibt, die durch eine Zeitverzögerung beeinflusst wird.

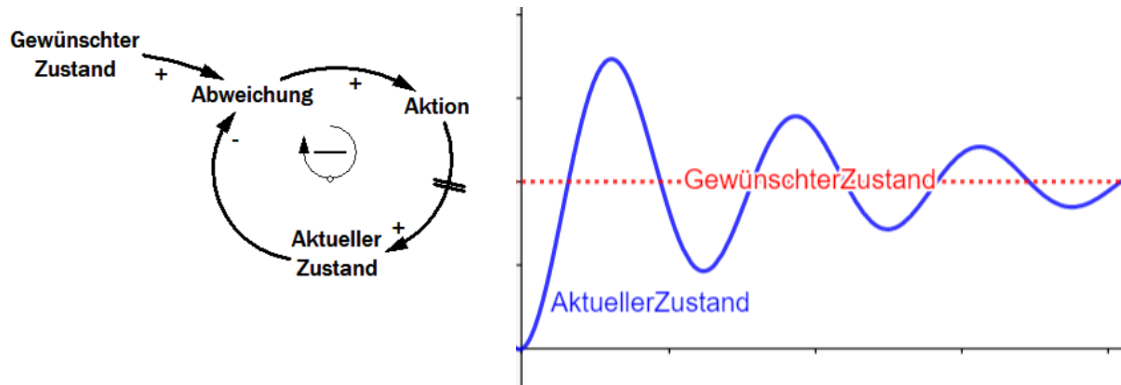


Abbildung 3-5: Struktur und Entwicklungspfad eines Gleichgewichtsprozesses mit Zeitverzögerung (verändert nach Pruyt (2013), S. 44)

Aufgrund der Zeitverzögerung wirkt die Aktion nicht unmittelbar auf den aktuellen Zustand, sodass die zeitverzögerte Wirkung zu einer Übersteuerung der Aktion führt, woraus sich ein schwingendes Verhalten im Zeitverlauf ergibt (vgl. auch Temperaturregulation in Kapitel 3.1).

### 3.2.4.3 Fixes that fail

Der Archetyp *Fixes That Fail* illustriert den Unterschied zwischen kurzfristiger Lösung und einem verspätet einsetzenden Nebeneffekt, der zeitverzögert zu einer Verstärkung des Problems führt (vgl. Abbildung 3-6).

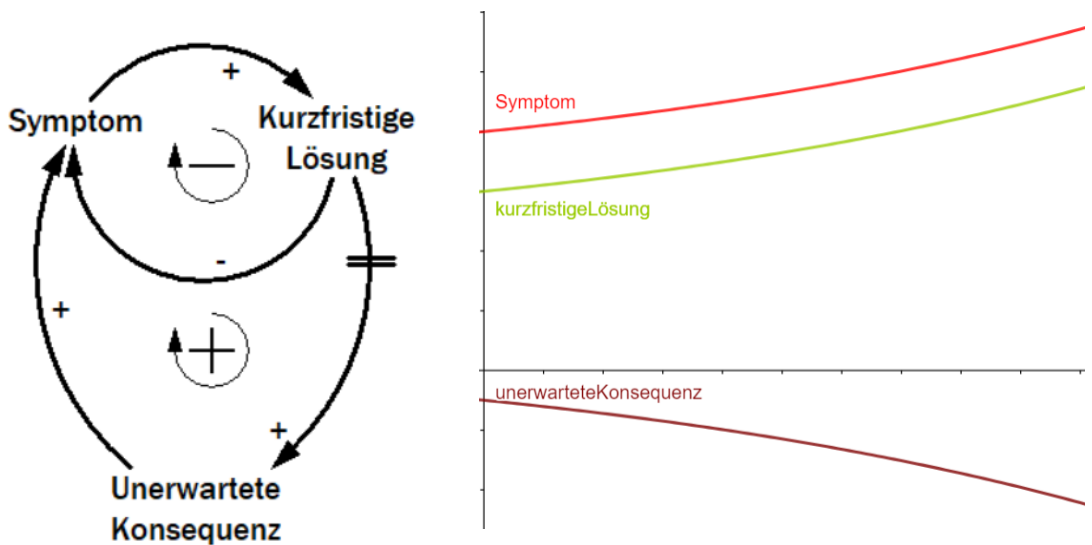


Abbildung 3-6: Struktur und Entwicklungspfad des Archetyps „Fixes that fail“ (verändert nach Pruyt (2013), S. 44).

*3.2.5 Begriffsdefinition Systemmodellierung für die vorliegende Studie*

Systemmodellierung beschreibt in der vorliegenden Studie die Modellierung mit Wirkungsdiagrammen, mit denen die Systemstruktur abgebildet wird. Wirkungsdiagramme ordnen sich als halbquantitative Betrachtungsweise (vgl. Sommer 2006, S. 132) zwischen qualitativem Wortmodell und quantitativer Modellierung ein (vgl. Abbildung 3-3). Sie ermöglichen es, über Relationen zwischen Modellgrößen Verhaltenskomplexität von Systemen konzeptionell abzubilden und so ausgehend von Archetypen Systemverhalten zu erklären, ohne dass dafür mathematische Darstellungsformen benötigt werden.

## 4 Systemmodellierung in der Lehre

Die Aussage “Humans perform only poorly in dynamic environments“ (Groesser und Schaffernicht 2012, S. 46) illustriert, dass die Verhaltenskomplexität dynamischer Systeme oft nicht intuitiv erfasst wird. Daher sind Fehlkonzepte beim Erlernen von Systemmodellierung und bei der Beschreibung nichtlinearer Systeme häufig.

In diesem Kapitel wird zunächst die Funktion von Modellen für den Lernprozess beschreiben. Das Konzept mentaler Modell, das sowohl zur Beschreibung des Modellierungsprozesses (vgl. Abbildung 3-2), als auch in Studien, die sich mit Lernprozessen in der Systemmodellierung beschäftigen, genutzt wird, wird in zwei Traditionslinien vorgestellt.

Es folgt die Darstellung verschiedener Studien, die sich mit Lernprozessen im Umfeld der Systemmodellierung befassen. Weiterhin wird ein konstruktivistisches Konzept des Lernens durch Modellierung in der Ingenieurdidaktik beschrieben. Das Kapitel schließt mit der Vorstellung von Qualifikationszielen für Absolvent\*innen deutscher Hochschulabschlüsse.

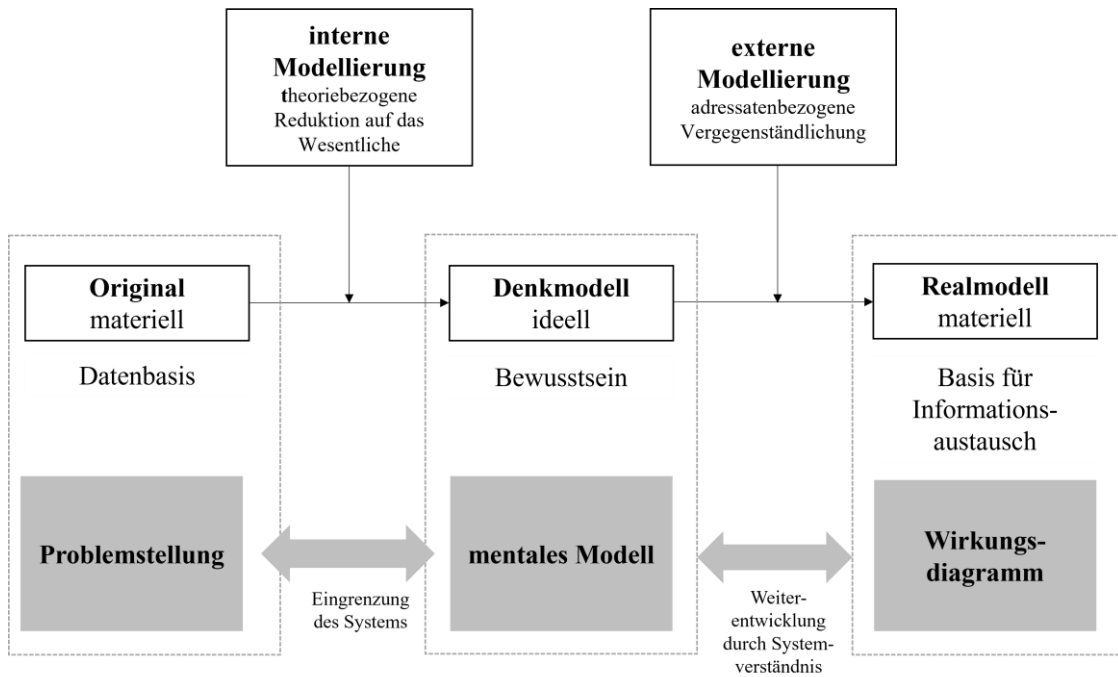
### 4.1 Modelle im Lern- und Verständnisprozess

In der Lehre lassen sich Modelle als „zweckmäßig konstruierte Hilfsmittel bei der Erkenntnisgewinnung und Erkenntnisvermittlung“ (Eschenhagen et al. 1996, in Sommer 2006, S. 49) definieren. Dabei erfüllen sie eine denkökonomische Funktion beim Erfassen von Sachverhalten und Lösen von Problemen, sowie eine Anschauungsfunktion für Strukturen und Prozesse. Weiterhin kann eine heuristische Funktion benannt werden, da Modelle das Finden und Eingrenzen von Problemen unterstützen (Sommer 2006, S. 49).

Wird ein Lernprozess als Vorgang zur Abbildung der Komplexität der Welt verstanden, so kann zwischen interner und externer Modellierung unterschieden werden (vgl. Abbildung 4-1): Bei der internen Modellierung findet eine Reduktion des Originals auf ein Denkmodell statt, das auf seine Grundzüge reduziert ist. Bei der externen Modellierung wird das Denkmodell vergegenständlicht und in ein Realmodell überführt. Dieses kann als materialisiertes Modell mit Adressatenbezug beschrieben werden.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Hier spiegeln sich die Modelleigenschaften der AMT wider (vgl. Kapitel 2.2.1).



**Abbildung 4-1: Prozess der Modellbildung (erweitert nach Eschenhagen et al. 1996, in Sommer 2006, S. 50),**

In der vorliegenden Studie können Systemmodelle als Realmodelle zur Modellierung einer Problemstellung innerhalb eines betrachteten Systems verstanden werden.<sup>14</sup> Das Denkmodell, das den Übergang zwischen System und darstellendem Wirkungsdiagramm vermittelt, wird als mentales Modell bezeichnet. Eine grundsätzliche Annahme in der Bildungsforschung zur System Dynamics Modellierung ist, dass eine Korrespondenz zwischen mentalem Modell und vergegenständlichtem Wirkungsdiagramm besteht, die durch einen Lernprozess beeinflusst werden kann. Unter dieser Annahme könnten fortgeschrittene Kenntnisse in der Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen zu adaptierten mentalen Modellen führen (vgl. Kapitel 4.2). In Abbildung 4-1 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Dabei ist das Modell von Eschenhagen et al. (1996) erweitert, wobei die grau markierten Felder durch die Forscherin ergänzt wurden, um den Zusammenhang zur System Dynamics Modellierung herzustellen.

<sup>14</sup> Inwiefern das betrachtete System als real existierend verstanden wird, hängt von der Art des Systems und dem philosophischen Ansatz ab, vgl. auch Kapitel 2.1.1.

## 4.2 Mentale Modelle

In der Systemmodellierung bezeichnet ein mentales Modell (engl. *mental model*) ein Abbild des Gedankenmodells mithilfe der Systemmodellierung (vgl. Kapitel 3.2). Das Konzept des mentalen Modells findet sich weiterhin bei Dutke (1994) in der Tradition der Allgemeinen Modelltheorie mit spezifischem Bezug auf Lernprozesse im technischem Umfeld. Beide Entwicklungslinien sind im Folgenden dargestellt.

### 4.2.1 Mentale Modelle nach Dutke

Laut Dutke (1994) sind mentale Modelle

*„[...] gedanklicher und nicht gegenständlicher Art“ (Dutke 1994, S. 4), die „[...] Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt [sind]. Damit sind sie aber gleichzeitig auch Grundlage zur Planung und Steuerung von Handlungen. Individuelle mentale Modelle können ihre eigenen Schwerpunkte aufweisen: manche sind stärker verstehensorientiert, andere eher handlungsorientiert“ (Dutke 1994, S. 2).*

Mit dieser Definition überträgt Dutke die von Stachowiak beschriebenen Modelleigenschaften auf Lern- und Handlungsprozesse, die kognitionspsychologisch hypothetische, nicht unmittelbar zu beobachtende Konstrukte, darstellen (vgl. ebd., S. 12). Mentale Modelle sind keine Kopie des Originals und müssen für technische Systeme nicht einmal technische oder physikalische Erklärungen umfassen (vgl. ebd., S. 13). Zu ihren Charakteristika gehört, dass mentale Modelle relativ änderungsresistent, dabei aber instabil und unvollständig sind (vgl. Norman 1983 in Dutke 1994, S. 13).

Ein fehlendes Erfassen von Zusammenhängen oder ein Vergessen von Details und Systemmerkmalen, besonders bei unregelmäßiger Nutzung, kann die Unvollständigkeit mentaler Modelle erklären (vgl. Dutke 1994., S. 11ff.). Die Änderungsresistenz kann über eine Aufwandsabwägung begründet werden:

*„Die Abwägung von Lernaufwand und Nützlichkeit mag dafür verantwortlich sein, daß mentale Modelle, auch wenn sie im technischen Sinne nicht korrekt sind, sich sehr resistent gegenüber Veränderungen erweisen“ (Oden 1987, in Dutke 1994, S. 15).*

Sie kann aber auch über Überzeugungen plausibilisiert werden, die z.B. nach Misserfolgserfahrungen gebildet werden (vgl. Dutke 1994, S. 11ff.).

Mentale Modelle sind nach Dutke inhaltsgebunden und besitzen einen bildhaften Charakter. Sie können dazu beitragen, dass Lernende ihr (System-)Verständnis ausgehend von Ähnlichkeiten strukturellen Ähnlichkeiten weiterentwickeln (vgl. ebd., S. 46ff.).

Der Konstruktionsprozess mentaler Modelle kann über verschiedene kognitive Strukturen beschrieben werden: Neben der Neukonstruktion und dem Zusammenführen von Modellen werden die Integration neuer Sinneinheiten und die Konsistenzprüfung vorgeschlagen (vgl. Johnson-Laird 1983, in Dutke 1994, S. 45).

Wird ein mentales Modell als Kausalmodell verstanden, so ist ein Problemlösungsprozess „durch das iterative Konstruieren und ‚Durchspielen‘ mentaler Modelle“ (Dutke 1994, S. 45) beschreibbar.

#### 4.2.1.1 Perspektivwechsel als Blick auf das mentale Modell

Vorstellungsbilder (engl.: „views of models“) bezeichnen nach Johnson-Laird (Johnson Laird 1983, S.157 in Dutke 1994, S. 53) die Sichtweisen, die auf mentale Modelle eingenommen werden können. Sie sind als „bildhafte Darstellungen“ des mentalen Modells aufzufassen und damit auch perspektivisch:

*„[Vorstellungsbilder] enthalten die wahrnehmbaren Eigenschaften der Objekte des Modells, und zwar aus einer bestimmten Perspektive, auf einen bestimmten Zustand des Modells“ (nach Brynart und Tversky 1992, in Dutke 1994, S. 53).*

Mit einer Veränderung der Vorstellungsbilder durch kognitive Simulation (vgl. Dutke 1994, S. 53) können Perspektiven oder Zustände des mentalen Modells verändert werden.

In einer Theorie mentaler Modelle beschreibt Johnson-Laird zudem das Konzept des mentalen Modells der Möglichkeiten (engl. mental model of possibilities (MMP)), welches konsistent mit dem bildhaften mentalen Modell von Entscheidungssituationen ist (vgl. Ragni und Johnson-Laird 2020, in Schaffernicht et al. 2021, S. 2ff.).<sup>15</sup>

#### 4.2.2 Mentale Modelle in System Dynamics

In der System Dynamics Forschung und Ausbildung sind mentale Modelle ein zentrales Konzept. Ein Zusammenhang zwischen Gedankenmodell und verhaltensklärendem strukturelem Systemmodell (z.B. ausgedrückt als Wirkungsdiagramm) wird dabei im Modellierungszyklus als konstituierend betrachtet (vgl. Doyle und Ford 1998, S. 1, Kapitel 2.2.2). Im Folgenden werden ein weiter, ein mittlerer und ein enger Begriff des mentalen Modells im Verständnis der System Dynamics Modellierung vorgestellt.

Eine weite Definition sieht mentale Modelle als intuitive Verallgemeinerung beobachteter Ereignisse, mit denen individuelle Entscheidungsprozesse erklärt werden können:

*„Each person carries in his head a mental model, an abstraction of all his perceptions and experiences in the world, which he uses to guide his decisions. [Mental models are] intuitive generalizations from observations of real-world events“ (Meadows et al. 1972, S.4f., in Doyle und Ford 1998, S. 6).*

Die „mittlere“ Definition mentaler Modelle nimmt Bezug auf die Zeitveränderlichkeit von Systemen und nennt ähnliche Eigenschaften wie das Konzept nach Dutke (1994):

---

<sup>15</sup> Auf die Integration mentaler Modelle im Sinne von System Dynamics und der Theorie mentaler Modelle nach Johnson-Laird wird, zur Abbildung von Mehrperspektivität in der Modellierung, in Kapitel 15.1.2 eingegangen.

*„A mental model of a dynamic system is a relatively enduring and accessible, but limited, internal conceptual representation of an external system whose structure maintains the perceived structure of that system.“ (Doyle und Ford 1998, S. 17).*

Die Strukturähnlichkeit zwischen mentalem Modell und wahrgenommenem realem Modell ist Grundlage für den Lernprozess durch Systemmodellierung.

Eine noch engere Definition, die direkt an Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen geknüpft ist, schlagen Fokkinga et al. (2009) vor:

*„A mental model is a conceptual representation of a social problem that can be externalized in the form of a causal loop diagram“ (Fokkinga et al. 2009, S. 3).*

Die dargestellten Definitionen zeigen auf, dass das Konzept mentaler Modelle trotz verschiedener Definitionsansätze eng an die Modellierung von Systemstrukturen über verhaltensklärende Darstellungsformen geknüpft ist. Über strukturabbildende Darstellungsform werden in der externen Modellierung Denkmodelle sichtbar gemacht (vgl. Abbildung 4-1).

Sowohl bei Dutke (1994), als auch in der System Dynamics Tradition wird mentalen Modellen zunächst eine Robustheit gegenüber Veränderungen zugeschrieben. Über den Einsatz geeigneter Darstellungsformen der Systemmodellierung kann bzw. soll in einem zyklischen Prozess zwischen Problemformulierung, Modellierung und Ableitung von Handlungsoptionen bei verschiedenen Akteursgruppen eine Veränderung von mentalen Modellen erreicht werden (vgl. Abbildung 3-2). Diese Veränderung kann auf individueller Ebene, aber auch auf Gruppenebene oder institutioneller Ebene stattfinden bzw. untersucht werden (vgl. Vennix 1999, S. 382ff.).<sup>16</sup> Die vorliegende Studie beschränkt sich auf die Betrachtung des individuellen Modellierungsprozesses.

---

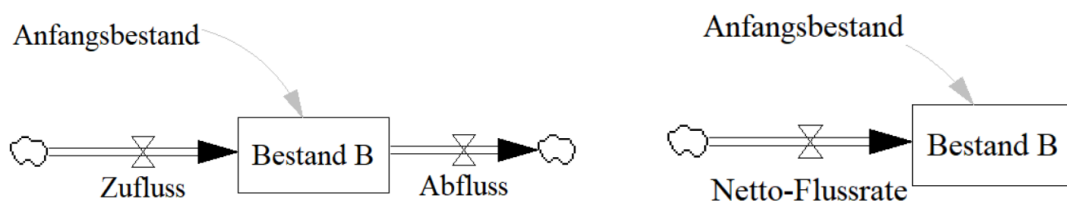
<sup>16</sup> Im Rahmen des *Group Model Building* Ansatzes werden mentale Modelle genutzt, um Wissen verschiedener Teilnehmer\*innen sichtbar zu machen und zu vergleichen (vgl. Vennix, Jac A. M. 1999, Fokkinga et al. 2009). So kann auch in „messy situations“ (vgl. Vennix, Jac A. M. 1999, S. 379ebd., S. 379) erfasst werden, welche Vorstellungen und Meinungen verschiedenen Beteiligte von einer Situation mitbringen. Auf eine Darstellung von Systemmodellierungsansätze mit stärker akteursbezogenem und geringerem strukturabbildenden Charakter, die zur Gruppenmodellierung eingesetzt werden, wird an dieser Stelle verzichtet. Ausführungen hierzu finden sich beispielsweise bei Senge (2006) und Bawden (2010).



### 4.3 Bildungswissenschaftliche Studien zur Systemmodellierung

Dieses Kapitel stellt bildungswissenschaftliche Studien vor, die den Lernprozess der Systemmodellierung erforschen. Nach einer Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Forschungslinie *System Dynamics* werden Erkenntnisse aus weiteren Strängen bildungswissenschaftlicher Forschung dargestellt, die das Erlernen von Systemdenken untersuchen bzw. systemischer Kompetenzen beschreiben.

#### 4.3.1 Stock-Flow-Tasks (SF-Tasks)



**Abbildung 4-2: Darstellungsvarianten von Stock-Flow-Modellen über Zufluss- und Abfluss, sowie über eine Netto-Flussrate**

Die Unterscheidung von Bestandsgrößen (*Stocks*) und Flussraten (*Flows*) ist Teil der Abbildung dynamischer Komplexität in Stock-Flow-Diagrammen. *Stocks* sind Speichergrößen, deren Bestand durch Zuflüsse und Abflüsse verändert wird. *Flows* beschreiben als Ein- bzw. Ausgangsgrößen die Änderungsraten des Bestands (vgl. Abbildung 4-2). Die Leistung bei der Bearbeitung von Aufgaben, welche die Entwicklung von Fluss- oder Bestandsgrößen innerhalb eines durch Stock-Flow-Diagramme modellierten Systems beschreiben, lässt sich nicht über einfache Einflussgrößen wie mathematische Vorkenntnisse erklären:

*„It appears that we should spend considerable time on the basics of stocks and flows, time delays, and feedback, with an emphasis on developing intuition rather than the mathematics [...] However, our results suggest that good mathematics training alone is not sufficient to develop a practical, common-sense understanding of the most basic building blocks of complex systems. We suggest that students should be given extensive opportunities for hands-on practice in both identifying and mapping stock and flow structures and graphical integration and differentiation. (Booth Sweeney und Sterman 2000, S. 281f.)*

In Stock-Flow-Tasks wird die Akkumulation der Bestandsgröße als isolierte Komponente der dynamischen Komplexität untersucht, wobei weitere Bestandteile dynamischer Komplexität, wie Rückkopplungen, Zeitverzögerungen oder Nichtlinearitäten unberücksichtigt bleiben.

*„There are no feedbacks, time delays, nonlinearities, or other elements of dynamic complexity.“  
(Sterman 2010, S. 318)*

Die Badewannen-Metapher ermöglicht es, Bestandsentwicklungen zu visualisieren (vgl. Abbildung 4-4). Die Entwicklung des Bestandes lässt sich jedoch auch mathematisch darstellen.

In zeitdiskreter Form berechnet sich der Bestand zu einem Zeitpunkt  $t_1$  über die kumulierte Summe der Zuflüsse abzüglich der kumulierten Summe der Abflüsse. Eine Aussage über den Gesamtbestand ist nur möglich, wenn der Anfangsbestands zum Zeitpunkt  $t_0$  angegeben wird. Die rekursive Darstellung der Formel lautet

$$\text{Neuer Bestand} = \text{Alter Bestand} + \text{Zufluss} - \text{Abfluss}$$

(vgl. Cronin et al. 2009, S. 118). Im zeitkontinuierlichen Fall wird der Bestand über das Integral der Flussraten mit Anfangswert  $B(t_0) = B_0$  beschrieben:

$$B(t_1) = \int_{t=t_0}^{t_1} \text{Zufluss}(t) - \text{Abfluss}(t) dt + B(t_0)$$

Mit einem Grundverständnis für graphische Integration kann die Bestandsentwicklung ohne weiterführende mathematische Hilfsmittel bestimmt werden: Der Bestand ist als Speichergroße zu verstehen: Solange die Nettorate  $\text{Zufluss}(t) - \text{Abfluss}(t)$  (vgl. Abbildung 4-2 rechts) positiv ist, wird der Bestand aufgefüllt. Verschwindet die Nettorate, so bleibt der Bestand konstant. Bei einer negativen Nettorate nimmt der Bestand ab. Sind die Funktionsgraphen der Flussraten gegeben, so lässt sich eine Bestandsänderung zwischen zwei Zeitpunkten graphisch über die Fläche zwischen dem Graphen der Flows und der Zeitachse im Intervall  $[t_0, t_1]$  bestimmen. Hierbei bewirkt die Akkumulationseigenschaft, dass in der Bestandsgröße keine Sprünge im Zeitverlauf auftreten können.

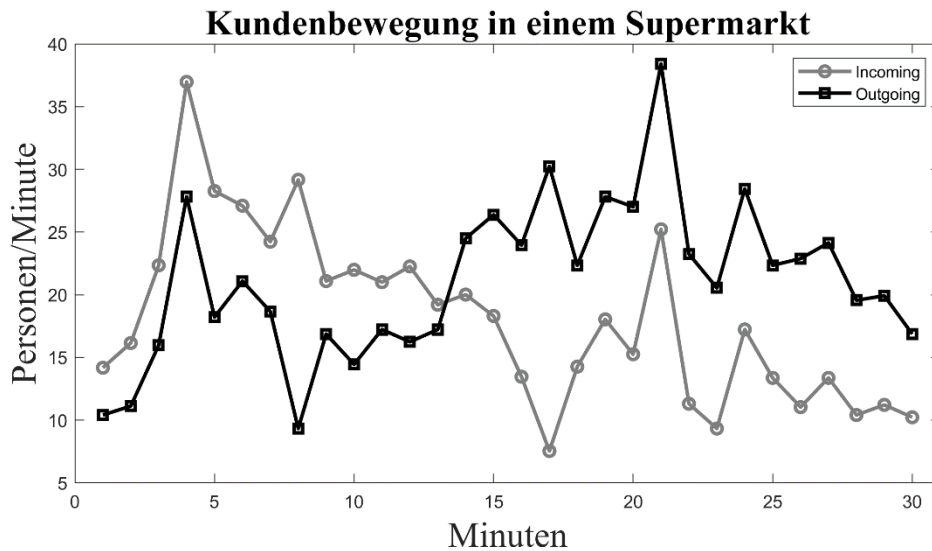
Das intuitive Verständnis für Akkumulation wurde in zahlreichen Studien anhand zweier Tests geprüft. Der Bathtub Dynamics Task (BD-Task, vgl. Abbildung 4-4) von Booth Sweeney und Sterman (2000) umfasst Fragen zum Füllstand einer Badewanne. Hiermit wird die Badewannen-Metapher zur Darstellung von Bestandsänderungen durch zeitkontinuierliche Zuflüsse bzw. Abflüsse aufgegriffen. Im Department Store Task (DS-Task, vgl. Abbildung 4-3) wird Akkumulation in diskretisierter Form bei der Erfassung der Besucher eines Supermarkts untersucht (vgl. Sterman 2002, S. 510).<sup>17</sup> Die Ergebnisse von Studien, die den SF-Task und den DS-Task auswerteten, sind im Folgenden nach Themen zusammengefasst.

---

<sup>17</sup> Der Department Store Task (DS), sowie der Bathtub Dynamics Task (BD) sind in Abbildung 17 und Abbildung 18 in der deutschen Übersetzung in der Form dargestellt, wie sie in der Studie eingesetzt wurden. Die mit (\*) bezeichneten Fragen wurden für die vorliegende Studie ergänzt.

**Aufgabe 1 (Department Store Task)**

Die folgende Abbildung zeigt die Kundenbewegungen in einem Supermarkt am Nachmittag. Dabei wird 30 Minuten lang die Zahl der eintreffenden Kunden (,Incomings‘), sowie die Zahl der Kunden, die den Markt pro Minute verlassen (,Outgoings‘) ermittelt.



**1a)** Zu welchem Zeitpunkt befinden sich die meisten Personen im Supermarkt?

Zeitpunkt: \_\_\_\_\_ Minuten

**1b)** Wenn mehr als 200 Kunden im Supermarkt sind, muss zusätzliches Personal an die Kassen gerufen werden. Ist es im abgebildeten 30 Minuten-Intervall nötig, weiteres Personal zu rufen?

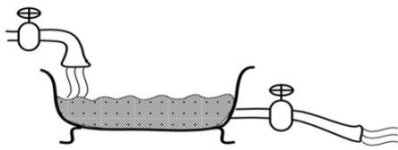
- ja
- nein
- kann man nicht sicher bestimmen
- weiß nicht

**1c)** Lassen sich aus der Abbildung Informationen über die durchschnittliche Verweildauer der Kunden im Supermarkt ablesen?

- ja
- nein
- kann man nicht sicher bestimmen
- weiß nicht

Abbildung 4-3: Department Store Task (DS-Task) (verändert nach Sterman 2002, S. 510).

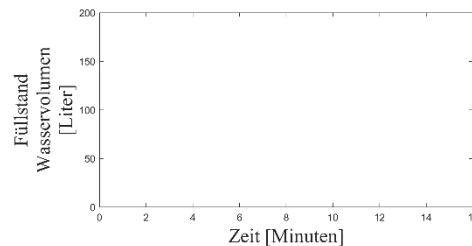
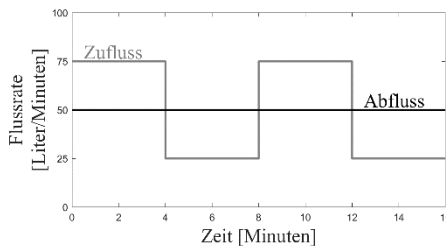
**Aufgabe 2 (Bathtub Dynamics Task)**



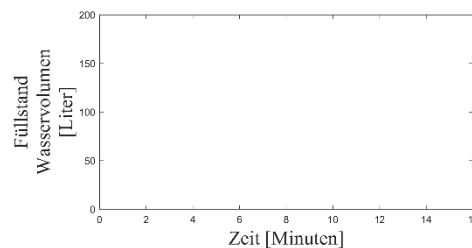
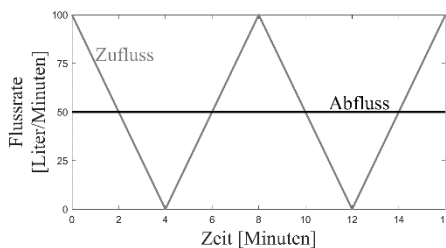
Bildnachweis: Melo et al. 2016

Betrachtet wird eine Badewanne. Der Zufluss und Abfluss des Wassers werden als Flussrate mit der Einheit Liter/Minute angegeben. Nehmen Sie an, dass sich zu Beginn der Betrachtung **100 Liter** Wasser in der Badewanne befinden und ergänzen Sie den Füllstand der Badewanne für den angegebenen Zeitraum unter Berücksichtigung der abgebildeten Zufluss- und Abflussraten.

2a)



2b)



2c) (\*)

- i) Bitte erläutern Sie, wie Sie bei der Lösung der Aufgaben vorgegangen sind.
- ii) Gibt es aus Ihrer Sicht eine allgemeine Methode zur Bestimmung des Füllstands? Erläutern Sie die Methode, falls sie existiert, oder erklären Sie, warum es keine allgemeine Methode gibt.

2d) (\*)

Entwickeln Sie eine Darstellung, die den allgemeinen dynamischen (zeitabhängigen) Zusammenhang zwischen Wasserbestand, Zufluss und Abfluss wiedergibt.

**Abbildung 4-4: Bathtub Dynamics Task (BD-Task) (verändert nach Booth Sweeney und Sterman 2000, 253ff.). Mit (\*) versehene Teilaufgaben wurden für die vorliegende Studie ergänzt.**

In den Studien zeigten sich wiederkehrendes Problem, das als Stock-Flow-Failure bezeichnet wurde:

Bereits in der ursprünglichen Studie von Booth Sweeney und Sterman (2000) wurde festgestellt, dass selbst einfache Stock-Flow-Probleme wie der BD-Test nicht intuitiv lösbar waren und damit für viele Teilnehmer\*innen die korrekte Lösung schwer zu finden war. Dies traf auch auf Personen mit guten mathematischen Vorkenntnissen und hohem Bildungsabschluss zu. *Stock-Flow-Failure* (vgl. Cronin et al. 2009, S. 117) wurde in verschiedenen Studien als robuster Fehler in der Prozessierung dynamischer Systeme (vgl. Fischer und Gonzalez 2016, S. 506) beschrieben, der bei mehr als der Hälfte der Personen auftrat, die kein Training in der Systemmodellierung durchliefen (vgl. Sterman 2010, S. 330, Cronin et al. 2009, S. 119).

Bei den Personen, die falsche Antworten auf die Testfragen gaben, war eine Korrelationsheuristik das häufigste Muster:

*„[...] the “correlation heuristic”, erroneously assuming that the behavior of a stock matches the pattern of its flows“ (Cronin et al. 2009, S. 116)*

Das lineare Argumentationsmuster der Mustererkennung (*pattern matching*, vgl. Sterman 2010, S. 328) bei dem angenommen wird, dass der Verlauf der Outputgröße dem Verlauf der Inputgröße entspricht, drückt aus, dass der Einfluss der Flussgrößen auf die Bestandsgrößen und das Konzept des Akkumulationsvorgangs, sowie dessen graphische Interpretation nicht intuitiv verstanden wurden. Zur Beantwortung der Frage zu extremen Füllständen der Stock-Größen besteht der korrekte Lösungsansatz darin, die Fläche zwischen Zufluss- und Abflussrate zu betrachten. Demgegenüber wurde bei einer fehlerhaften Lösung meist auf Zeitpunkte zugegriffen, bei denen Flussgrößen auffällige Ausprägungen zeigten:

*„[...] when people analyze the Sterman graph<sup>18</sup> incorrectly, they seem to choose one of three alternate points for when the stock is most full/empty: the peak for the inflow (most full) or outflow (most empty), the place with the biggest momentary net flow difference (the gap), or “cannot be determined”. This pattern is somewhat consistent with the “pattern-matching” explanation [...]“ (Cronin und Gonzalez 2007, S. 11)*

Eine systematische Untersuchung möglicher Einflussfaktoren, welche die Fehlvorstellung erklären könnten, erfolgte u.a mit Bezug auf die kognitive Belastung, das Vorwissen, den Anwendungskontext, sowie die Motivation, aber auch die lokale oder globale Betrachtung der Problemstellung (vgl. Cronin 2007, Cronin et al. 2009).

Es wurde festgestellt, dass Teilnehmer\*innen in der Testaufgabe einzelne Punkte als auffällige lokale Merkmale des Problems identifizierten. Dies lenkte die Aufmerksamkeit vom Gesamtverlauf des Akkumulationsprozesses ab (vgl. Cronin 2007). Hierbei scheint ein lokales Prozessieren Stock-Flow-Failure zu erklären:

---

<sup>18</sup> Mit dem Sterman Task ist die Aufgabenstellung des Stock-Flow-Tasks gemeint, vgl. Abbildung 4-3 bzw. Abbildung 4-4.

Fischer und Gonzalez (2016) zeigten, dass ein Fragetyp, der lokales Denken fördert, das Lösungsverhalten der Teilnehmer\*innen beeinflusste. Wurde die Frage nach der Zeit<sup>19</sup> in der Form „*during which minute*“ anstelle von „*when*“ formuliert, so betrachteten die Teilnehmer\*innen in der Aufgabe tendenziell die (lokale) Textur anstelle der (globalen) Gestalt (vgl. Kimchi und Palmer 1982, S. 521, Fischer und Gonzalez 2016, S. 500) und nutzten als Antwortstrategie vermehrt eine Korrelationsheuristik. Andererseits konnten Qi und Gonzalez (2019) keinen statistisch signifikanten Einfluss in der Beantwortung von Akkumulationsfragen bei globalen und lokalen prozessierenden Teilnehmenden feststellen.

Mehrere Studien untersuchten den Einfluss der Datendarstellung auf die Leistung in Stock-Flow Tests: Cronin et al. (2009) konnten weder für veränderte Darstellungsform (Liniengraph, Histogramm oder Tabelle) noch bei einer Reduzierung der Datenpunkte, die eine Verringerung der kognitiven Belastung bewirken sollte, einen statistisch signifikanter Einfluss auf die Leistung im SF-Task nachweisen. Kainz und Ossimitz (2002) wiederum zeigten auf, dass schwierigere Aufgaben zur Akkumulation (vgl. DS-Task 1b) bei einer tabellarischen Darstellung der Flussraten häufiger richtig beantwortet wurden als bei einer graphischer Darstellung (vgl. Kainz und Ossimitz 2002, S. 21). Fischer et al. (2015) berichteten, dass vielen Proband\*innen eine mündliche Antwort auf Fragen zur Akkumulation leichter fiel als graphische Antworten und zudem in der verbalen Darstellung bessere Ergebnisse und Erklärungen von dynamischen Zusammenhänge beobachtet wurden (vgl. Fischer et al. 2015, S. 261ff.):

*„Results showed not only that participants have difficulties dealing with the graphical format used in previous research, but also that SF reasoning improves dramatically in a verbal format“  
(Fischer et al. 2015, S. 262).*

Unterschiede gab es auch bei der Beschreibung verschiedener Modellgrößen: Teilnehmenden fiel es signifikant leichter, bei gegebenem Text zu einer Flussrate den Verlauf der Bestandsgröße zu zeichnen (> 50% korrekte Antworten), als die Flussrate selbst darzustellen (< 15% korrekte Antworten). Die Darstellung einer konstanten Flussrate schien dabei die Teilnehmenden zu irritieren (vgl. Kainz und Ossimitz 2002, S. 20f.). Fischer et al. (2015) berichteten hierbei, dass eine mündliche Antwort auf die Entwicklung der Flussraten auch dann noch häufig korrekt gegeben wurde, wenn die Probanden keine graphische Entwicklung darstellen konnten. Dies deutet darauf hin, dass der Umgang mit qualitativen statt quantitativen Informationen das Konzeptverständnis fördert (vgl. Fischer et al. 2015, S. 262ff.).

Um den Einfluss domänenspezifischen Wissens auf die Testleistung zu untersuchen (vgl. Cronin et al. 2009, S. 121), wurden die Anwendungskontexte der Aufgaben-

---

<sup>19</sup> DS-Task, Frage 1a.

stellung durch Anpassung der Titelgeschichten verändert: Hierbei ließen sich weder spezifischen Einflüsse der Titelgeschichten noch ein Einfluss von Kontextwissen auf die Leistung im Test nachweisen (vgl. Cronin 2009, S. 122ff., Qi und Gonzalez 2019, S. 214ff.). Eine Auswahl an Titelgeschichten ist in Tabelle 4-1 dargestellt.

**Tabelle 4-1: Titelgeschichten zu den Stock-Flow-Tasks.**

Autoren	Titelgeschichten
Booth Sweeney und Sterman 2000	Badewanne
Sterman 2002, Cronin und Gonzalez 2007	Kunden im Supermarkt
Cronin et al. 2009	Kontostand Abstand zwischen Autos (bei gegebener Geschwindigkeit)
Qi und Gonzalez 2019	Körperflüssigkeiten
Kainz und Ossimitz 2002	Belegung von Krankenhausbetten Parkplatzbelegung
Fischer et al. 2015	CO <sub>2</sub> -Gehalt in der Atmosphäre Kinder auf dem Spielplatz

Manche Studien zur Untersuchung des SF-Tasks wurden ohne Leistungsanreize durchgeführt (vgl. Booth Sweeney und Sterman 2000, S. 279, Kainz und Ossimitz 2002, S. 4). Bei anderen ist nicht dokumentiert, in welcher Form Anreize bereitgestellt wurden. Cronin et al. (2009) untersuchten daher den Einfluss inhaltlichen Feedbacks als Motivation und Leistungsanreiz. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen Kontroll- und Treatmentgruppe. Erhielten Teilnehmende Hinweise auf Fehler in ihrem Lösungsansatz, so verbesserte sich mit der Überarbeitung der eigenen Lösung das Ergebnis; jedoch blieb die Rate der Verbesserung über die Versuche hinweg konstant (vgl. Cronin et al. 2009, S. 123).

Die Frage, welchen Einfluss Vorkenntnisse in Mathematik bzw. Informatik, Naturwissenschaften und Technik<sup>20</sup> auf die Leistung in Stock-Flow-Tasks haben, wurde in einigen Studien untersucht. Für Teilnehmende mit technischem Erststudium konnte bei manchen Aufgaben eine leichte Evidenz für einen Effekt erkannt werden (vgl. Sterman 2010, S. 330). Der Zusammenhang zwischen mathematischen Vorkenntnissen bzw. MINT-Vorkenntnissen und der Leistung im Test erschien in Studien, die mit gut ausgebildeten Studierenden des Massachusetts Institutes of Technology (MIT) durchgeführt wurden<sup>21</sup>, jedoch ernüchternd:

*„STEM<sup>22</sup> Education was not effective in developing their ability to recognize stocks and flows and to apply the principles of accumulation.“ (Sterman 2010, S. 331).*

<sup>20</sup> MINT: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik

<sup>21</sup> „highly educated MIT graduate students“, Cronin und Gonzalez 2007, S. 2.

<sup>22</sup> STEM: Science Technology Engineering and Mathematics

Im Gegensatz hierzu wurden in den Studien von Qi und Gonzalez (2015), sowie Qi und Gonzalez (2019) fachliche Vorkenntnisse detaillierter erhoben. Dort wurde eine Korrelation zwischen mathematischem Vorwissen und Vermeidung von Stock-Flow-Failure im DS-Task beobachtet. Bessere Mathematikkennntnisse führten jedoch nicht zu einem Rückgang der Korrelationsheuristik als Lösungsansatz. Da in Schulen der Umgang mit Proportionalitäten intensiv geübt und von Schüler\*innen tendenziell übermäßig eingesetzt wird (vgl. van Dooren et al. (2005)), könnte intensives Mathematiktraining den Einsatz linearer Modelle fördern eine Korrelationsheuristik im Stock-Flow-Task verstärken (vgl. Qi und Gonzalez (2019)). Zusammengefasst scheint lineares Denken als Heuristik unmittelbar zugänglich, während das Denken in Rückkopplungen weniger intuitiv ist (vgl. Modestou und Gagatsis (2007) in Qi und Gonzalez (2019)).

Soziodemografische Merkmale wurden in vielen Studien auf freiwilliger Basis erhoben. Die Ergebnisse zum Einfluss sozio-demografischer sind somit vor dem Hintergrund unvollständiger Daten (vgl. Booth Sweeney und Sterman 2000, S. 278), sowie teilweise kleiner Stichproben (vgl. Kainz und Ossimitz 2002, S. 22) zu interpretieren.

Sterman fasste den Hintergrund der MIT-Studierenden<sup>23</sup>, die an den Studien Sterman Booth Sweeney und Sterman (2000), Cronin und Gonzalez (2007), sowie Cronin et al. (2009) teilnahmen, als breitgefächert zusammen: „backgrounds ranging from people with no mathematics training to those with doctorates in physics“ (Sterman 2002, S. 503) . Es handelte sich mehrheitlich um Postgraduierte, die ein Masterstudium im Management absolvierten (vgl Booth Sweeney und Sterman 2000, S. 263). Die Verteilung von Geschlecht, Alter, Ausbildung und Studienabschlüssen ähnelte sich nach Angaben der Autoren (vgl. Cronin und Gonzalez 2007, S. 8, Cronin et al. 2009, S.121). Für Alter, Muttersprache und aktuellen Studiengang konnte keine signifikanten Einfluss auf die Testergebnisse ermittelt werden.

Von Qi und Gonzalez (2019) wurde infrage gestellt, ob sich Ergebnisse verallgemeinern lassen, ohne dass kulturelle und bildungsbiografische Aspekte berücksichtigt werden: Bei chinesischen Bachelorstudierenden ließen sich Korrelationen zwischen Mathematikkennntnissen und Testleistungen erkennen, die u.a. über (bildungs-)kulturelle Einflussfaktoren und Curricula erklärt wurden. Die Autoren forderten daher weitere Forschung zu kulturellen Einflüssen:

*„Future research needs to extend our work to more diverse populations across different cultures, nations and education systems. Comparative studies [...] under a cross-cultural frame are desirable to uncover more essential factors for peoples' understanding of stock-flow structures.“*  
(Qi und Gonzalez 2019, S. 208).

---

<sup>23</sup> Studierende vom MIT nahmen u.a. an den Studien von Booth Sweeney und Sterman (2000), Cronin, Gonzalez (2007) und Cronin et al. (2009) teil.



Auch der Einfluss weiterer soziodemografische Einflüsse blieb in bisherigen Studien unscharf: Männer schnitten in einzelnen Studien beim Test zwar etwas besser ab als Frauen. Im Posttest war dieser Effekt jedoch nicht mehr zu erkennen (vgl. Booth Sweeney und Sterman 2000, S. 278, Kainz und Ossimitz 2002, S. 20). Die leichten Effekte wurden angesichts fehlender Korrelationen zu erklärenden Größen wie Vorkenntnissen nicht weiter bewertet bzw. als mögliches Artefakte diskutiert (vgl. Sterman 2010, S. 331).

Einen nachweislich positiven Einfluss auf die Modellierung haben Einführungskurse: Diese können die Leistung im Stock-Flow-Test verbessern: Sterman (2010) zeigte auf, dass bei Postgraduierten nach einem halbsemestriger Einführungskurs in *System Dynamics* eine signifikante Verbesserung der Leistungen im DS-Test erkennbar war. Während im Pretest fast die Hälfte der Teilnehmenden eine falsche Antwort gegeben hatte, reduzierte sich der Anteil der falschen Antworten im Posttest auf ein Viertel. Zudem verringerte sich bei den Personen mit falschen Antworten im Posttest deutlich der Anteil derer, die eine Korrelationsheuristik nutzten.

Kainz und Ossimitz (2002) zeigten diesbezüglich, dass bereits eine 90-minütige Einführung zu Konzepten der Stock-Flow-Modellierung und möglichen Fehlerquellen einen positiven Einfluss auf die Leistungen im Posttest bewirkte. Hierbei wurden Pretest, Einführung und Posttest mit jeweils vier Wochen Abstand durchgeführt (Kainz und Ossimitz 2002, S. 22).

#### 4.3.2 Einordnung der Stock-Flow-Forschungsergebnisse

Bildungswissenschaftliche Fragestellungen werden der *System Dynamics* Community seit den 2000er Jahren untersucht. Das Interesse am Lernprozess der Systemmodellierung entstammt aus der Beratungspraxis und der damit einhergehenden Beschäftigung mit Fragen, ob und wie Kunden ein Verständnis für Systemzusammenhänge entwickeln (vgl. Ford und Sterman (1998), Lane (1992), Booth Sweeney und Sterman (2000)).

Anhand der etablierten Testaufgaben des Department Store Tasks und der Bath Tub Dynamics Tasks wurde Stock-Flow-Failure als wiederkehrendes Phänomen identifiziert. Die Robustheit von Fehlvorstellungen ist in ähnlicher Form aus der Beratungspraxis als „policy insensitivity“ (Richmond 1993, S. 125) bekannt.

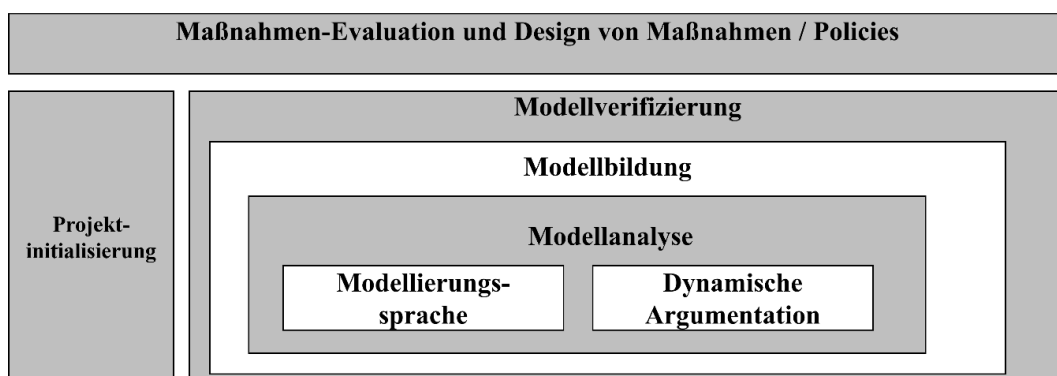
Einzig für methodisches Training in der Modellierung dynamischer Komplexität konnte bislang ein eindeutiger Effekt auf die Leistung in Stock-Flow-Tests nachgewiesen werden (vgl. Sterman (2010), Kainz und Ossimitz (2002)). Weitere Einflussgrößen sind trotz verschiedener Studien bislang erst in Ansätzen verstanden, was darauf hindeutet, dass Systemdenken selbst ein komplexes Konzept mit vielen Einflussparametern ist, die auf kognitiver Ebene, aber auch auf Ebene von

Persönlichkeitseigenschaften oder über Einflüsse der Sozialisierung beschreibbar sein könnten (vgl. Klieme und Maichle 1994, S. 62, in Sommer 2006, S. 34, Qi und Gonzalez 2019, S. 20). Es besteht daher Bedarf, das Lernen von Systemmodellierung, z.B. unter der Berücksichtigung verschiedener Vorkenntnisse genauer zu erforschen, um die Leistung bei Stock-Flow-Tasks oder anderen Situationen, in denen der Umgang mit dynamischer Komplexität erlernt werden soll, zu beschreiben und zu verstehen. Hier können qualitativ-explorierende Ansätze dazu beitragen, weitere Einflussgrößen auf den Lernprozess zu identifizieren.

#### 4.3.3 Kompetenzentwicklungsrahmen für System Dynamics

Schaffernicht und Groesser (2016) formulierten einen Kompetenzentwicklungsrahmen, der unabhängig vom fachlichen Anwendungsgebiet einsetzbar sein soll und als Orientierung für Bildungsforschung und Curriculumsentwicklung in der tertiären Bildung vorgesehen wurde. Der Kompetenzrahmen bezieht sich vorwiegend auf die Modellierung mit Stock-Flow-Diagrammen für die Zielgruppe Studierender an Hochschulen.

In einem Delphi-Verfahren ordneten Experten der System Dynamics Modellierung mehr als 250 Lernziele bzw. Zwischenziele gemäß Bloom's veränderter Taxonomie ein (vgl. Anderson 2014, in Schaffernicht und Groesser 2016, S. 53ff.). Als Ergebnis entstand der in Abbildung 4-5 dargestellte Kompetenzrahmen. Dieser bildet im Schwerpunkt den klassischerweise in Lehrbüchern verfolgten Weg der Systemmodellierung von der Analyse hin zur Synthese von Modellen ab.



**Abbildung 4-5: Kompetenzrahmen der System Dynamics Modellierung mit sieben „System Dynamic Skills“ (eigene Abbildung, verändert nach Schaffernicht und Groesser 2016, S. 60).**

Jedem „SD-Skill“ des Kompetenzrahmens wurden, angelehnt an die Entwicklungsstufen *Beginner – Advanced Beginner – Competent – Proficient* nach Dreyfus und Dreyfus (1980), Kompetenzen zugeordnet (vgl. Schaffernicht und Groesser 2016, S. 57).

**Tabelle 4-2: Lernziele der System Dynamics Modellierung eingeordnet in eine Matrix aus „SD-Skills“ und Entwicklungsstufen (vereinfacht nach Schaffernicht und Groesser 2016, S. 63–68).**

SD-Skill	Kompetenzbereich	Beginner	Advanced Beginner	Competent
<b>System Dynamics Sprache: Erinnern und Verstehen der Begriffe</b>	Modellierungsprozess		Modellgrenze, Modellzweck, Phasen des Modellierungsprozesses	Methoden der Modellierung, Voraussetzungen zum Einsatz von System Dynamics
	Konzeptverständnis	Bestandsgrößen, Flussgrößen, Kausalität, Polarität	Verzögerung	Policy, dynamische Hypothese
	Modellierungsschritte		Ziele der Modellierung, Modellierungsphasen	Modellierungsmethoden, Anforderungen an SD
	Entwicklungspfade	lineares Verhalten, exponentielles Verhalten am Graphen und als Wortmodell	S-förmiges Wachstum am Graphen oder als Wortmodell	
	Wirkungsdiagramme		Polarität von Relationen und Rückkopplungen, Variablen als Nomen, Ziele positiver und negativer Rückkopplung	geeignetes Aggregationsniveau
	Standardformulierungen	positive Rückkopplungen	negative Rückkopplungen	Bass-Modell für S-förmiges Wachstum, ausgewählte Archetypen
	Darstellungsformen		Übergang Wirkungsdiagramm - Stock-Flow-Diagramm und umgekehrt	
<b>Dynamische Argumentation</b>	Stocks und Flows	Unterschiede zwischen Stock und Flow-Variablen beschrieben	Stock Entwicklung bei gegebenen Flow-Größen beschreiben	Regeln graphischer Integration und Ableitung definieren
	Rückkopplungen verstehen	positiver Rückkopplung mit exponentiellem Wachstum assoziieren und umgekehrt. negative Rückkopplung mit zielsuchendem Verhalten assoziieren	zielsuchendes Verhalten mit negativer Rückkopplung assoziieren, Polarität von Rückkopplungen bestimmen	Dominanz von Rückkopplungsschleifen untersuchen
<b>Modell erstellen</b>	Modellgrenze		Modellgrenzen und Zeithorizont identifizieren	
	Darstellung Variablen	Variablen aus Text identifizieren (einfache Modelle)	Variablen aus Text identifizieren (komplexere Modelle)	
	Diagramm erstellen		Relationen, Polaritäten, Verzögerungen aus Wortmodell übertragen	Daten zur Modellierung recherchieren

Eine vereinfachte Übersicht über die Kompetenzbereiche ist für die ersten drei Entwicklungsstufen in Tabelle 4-2 dargestellt.<sup>24</sup>

#### 4.3.4 Systemdenken bei Ossimitz

Die Studie von Ossimitz bildet den Ausgangspunkt für weitere Studien, die im weiteren Verlauf des Kapitels beschrieben sind. Ossimitz ordnet systemisches Denken im Kontext der „offenen Mathematik“ ein, bei der Mathematik als „Darstellungs- und Kommunikationsmittel“ (Fischer 1984 in Ossimitz 2000, S. 92ff.) dient.

Hierbei unterscheidet Ossimitz vier Stufen systemischen Denkens:

*Vernetztes Denken*, das linearem Denken gegenübergestellt wird, umfasst die in Kapitel 3.2 beschriebenen Grundlagen der Systemmodellierung, d.h. Identifizierung direkter Zusammenhänge, Rückkopplungen sowie Netze von Wirkungsbeziehungen. Hierzu gehören die gegenstandsangemessene Abgrenzung und schrittweise Erweiterung von Systemmodellen (vgl. Ossimitz und Lapp 2006, S. 58ff.).

*Dynamisches Denken* beinhaltet das Verständnis für die zeitliche Dynamik von Systemen, d.h. eine Betrachtung der Entwicklung anstelle einer Momentaufnahme (vgl. ebd., S. 73). Über Archetypen werden Zusammenhänge zwischen Systemstruktur und Zeitverhalten abgeleitet (vgl. Kapitel 3.2.4). Ein Verständnis für Zeitverzögerungen und ihre Auswirkungen, sowie der Betrachtungshorizont sind hierbei relevant, da sich ein in kleinem Zeitfenster „stabiler“ Prozess auf einer anderen Zeitskala anders verhalten kann (vgl. ebd., S. 73ff., sowie Kapitel 2.1.3). Langfristige Änderungen im Systemverhalten sind durch Veränderungen der Systemstruktur bedingt (vgl. Kapitel 2.1.5).

*Denken in Modellen* oder „Systemdenken“ basiert auf der bewussten Wahrnehmung von Modellen und ihrer verkürzenden Eigenschaften (vgl. Ossimitz 2000, S. 58, Kapitel 2.2.1).

*Systemgerechtes Handeln* schließlich umfasst das Weiterentwickeln und Lenken von Systemen, etwa über die Entwicklung oder Exploration von Systemmodellen. Dies beinhaltet auch die Suche nach Hebelpunkten, also Systemgrößen, die sich für Lenkungseingriffe eignen.<sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> In der vorliegenden Studie wurden Modellierungselemente eingesetzt, die vorwiegend den Kompetenzbereichen Beginner und Advanced Beginner in Tabelle 4-2 zuzuordnen sind und sich auf die Modellierung mit Wirkungsdiagrammen anwenden lassen.

<sup>25</sup> Die Umsetzung erfolgt in der Regel über Simulationssoftware, die im Zyklus der Systemmodellierung erst in einer späteren Phase zum Einsatz kommt (vgl. Abbildung 3-2).

Da die beschriebenen Dimensionen stark verwoben sind, dienen sie nicht direkt der „Operationalisierung systemischen Denkens“ (Ossimitz 2000, S. 129, in Sommer 2006, S. 35), können jedoch zur Analyse des Systemdenkens eingesetzt werden.

Geeignete Darstellungsformen machen „systemisches Denken [...] sichtbar und damit kommunizierbar“ (Ossimitz und Lapp 2006, S. 38f.). Ossimitz unterscheidet hierzu die in Kapitel 3.2 in Abbildung 3-3 dargestellten „[v]ier Darstellungsmodi von Systemen“ (ebd., S.41), die zwischen qualitativer und quantitativer Ausprägung einzuordnen sind.

Wirkungsdiagramme können als „nichtspezialisiertes Darstellungsmittel [...] für den qualitativen Bereich“ (Ossimitz 2000, S. 59) und als Standardwerkzeug verstanden werden, das Denken in Rückkopplungskreisen fördert. Sie können „[s]owohl zur Entwicklung systemischen Denkens als auch für systemdynamisches Modellieren“ (Ossimitz 2000, S. 119) genutzt werden, da ein direkter Übergang zu Wortmodellen bzw. Stock-Flow-Diagramm möglich ist. Da der Übergang zu simulationsfähigen Stock-Flow-Diagrammen ausgehend von Wirkungsdiagrammen einfach möglich ist, werden Wirkungsdiagramme auch als halbquantitative Darstellungsform bezeichnet (vgl. Sommer 2006, S. 132).

Seine grundlegende Hypothese „Systemische Denkformen brauchen adäquate Darstellungsformen“ (Ossimitz und Lapp 2006, S. 40) untersuchte Ossimitz in einer empirischen Forschungsarbeit.

Hierbei untersuchte Ossimitz den Lernzuwachs und Einflussgrößen systemischen Denkens bei Schüler\*innen der Sekundarstufe II an verschiedenen österreichischen Schulen. Entsprechend der „schulischen Realität“ (Ossimitz 2000, S. 183) war den Lehrkräften die Gestaltung der etwa 20-stündigen Unterrichtseinheit zur Systemmodellierung freigestellt. Die Erhebung erfolgte über Pre- und Posttest, sowie Arbeitsdokumente und wurde durch eine Befragung begleitet. Im Pre- und Posttest sollten die Teilnehmenden die in einem Text beschriebene Situation so darstellen, dass man „das Wichtigste auf einen Blick erkennt“ (ebd., S. 195).

Ossimitz klassifizierte die Darstellungsformen, die im Pretest eingesetzt wurden und beschrieb damit die Vielfalt verschiedener Lösungsansätze (vgl. Tabelle 4-3).

**Tabelle 4-3: Einteilung von Darstellungsformen (Ossimitz 2000, S. 211f.)**

1. Nacherzählung (fortlaufender Text)	8. Wirkungsdiagramme ohne Rückkopplungskreise
2. Tabellarische Darstellung	9. Metaplanartige Darstellungen
3. Stadienbilder	10. Baumdiagramme (komplementäre Wirkungsketten)
4. Szenische Darstellung	11. Wirkungsdiagramm mit mindestens einem Rückkopplungskreis
5. Histogrammartige Darstellungen	12. Kombinierte Darstellung
6. Funktionsgraphen	
7. Wirkungsketten	

Im Pretest zeichnete bereits die Hälfte der Schüler\*innen ein Wirkungsdiagramm. Im Posttest nutzten fast zwei Drittel und damit signifikant mehr Personen Wirkungsdiagramme als im Pretest.

Anders als angenommen, konnte Ossimitz keine klaren Zusammenhänge zwischen soziodemografischen Größen wie Alter, Geschlecht und den Testleistungen identifizieren. Beispielsweise fand sich der Einsatz bildhafter Darstellungsformen in ähnlichem Maß bei verschiedenen Altersgruppen. Auch für Mathematikleistung und Computervorkenntnisse ließen sich keine klaren Einflüsse auf die Leistung in der Studie erkennen.

Als entscheidende Einflussfaktoren wurden die Lehrperson und ihre Unterrichtsgestaltung identifiziert. Dieser Zusammenhang wurde über die freie Wahl des Unterrichtsdesigns erklärt. Insgesamt wurde festgestellt, dass die Studie den Einsatz von Wirkungsdiagrammen als Darstellungsform förderte. Als Maßnahme schlug Ossimitz die Schulung von Lehrkräften vor, um eine förderliche Lernumgebung zu schaffen (vgl. ebd., S.244).

Ossimitz diskutierte zudem verschiedene Erkenntnisse zur Erhebungs- und Auswertungsform seiner Studie: Die Bewertung von Wirkungsdiagrammen über Vernetzungs- und Komplexitätsindizes identifizierte er für die Bewertung der Pre- und Posttestergebnisse als geeignet.<sup>26</sup> Da kein Deckeneffekt erkennbar war, stufte Ossimitz die Schwierigkeit der Aufgaben als angemessen ein. Den Multiple-Choice-Tests, welche die Darstellungsaufgaben begleiteten, schrieb er eine begrenzte Aussagekraft zu.<sup>27</sup>

---

<sup>26</sup> Die Eignung solcher Maße ist darauf zurückzuführen, dass für die Situationen im Pretest und Posttest eine Musterlösung zur Systemmodellierung erstellt werden kann, da in den betrachteten Modellsystemen die Modellgrenzen und Aggregationsebene vorgegeben sind.

<sup>27</sup> Ergebnisse einer Aufgabe mit Argumentationsketten konnten nicht mit den Ergebnissen anderer Aufgaben korreliert werden und wurden daher nicht gemeinsam ausgewertet.

Den Einsatz einer Modellierungssoftware bewertet Ossimitz als „weder hinderlich noch förderlich“<sup>28</sup>. Er empfahl jedoch den softwareunabhängigen Zugang zu Systemdenken und Systemmodellierung.

Den Dialogkontext in Gesprächen über die Modellierung beschrieb Ossimitz als wichtiges Validierungsmittel: So konnten „für scheinbar völlig ‚falsche‘ Antworten sehr plausible Erklärungen“ (Ossimitz 2000, S. 177) erfasst werden. Diese Erkenntnis steht in Einklang mit den Studienergebnissen von Fischer et al. (2015) und Fischer et al. (2016) und deutet darauf hin, dass ein qualitatives Vorgehen gegenstandsangemessen sein kann, um Lernprozesse im Bereich der Systemmodellierung zu beschreiben.

#### 4.3.5 Systemdenken bei Grundschüler\*innen

Sommer (2006) zeigte in ihrer Dissertation, dass bereits Grundschüler\*innen Systemmodellierung mit Begriffslandkarten als vereinfachter Form von Wirkungsdiagramm umsetzen können.<sup>29</sup> Hierbei waren Fortschritte ohne explizites Training von Systemmodellierung zu erkennen. Dies wurde über das vermittelte Fachwissen zu einem biologischen Themenfeld und den Trainingseffekt beim mehrfachen Anwenden von Begriffslandkarten erklärt (vgl. ebd., S. 245).

Die Teilnehmenden erwarben „ein relativ umfangreiches und komplex vernetztes biologisches Fachwissen“ (ebd., S. 2) mit dem sie Organisation und Eigenschaften von Systemen vorwiegend im fachspezifischen Kontext Biologie gut beschrieben.

Aus unterschiedlich nivellierten Aufgaben entwickelte Sommer ein „Stufenmodell der Systemkompetenz von Grundschulern“ (ebd., S.1) das sechs Komponenten in jeweils drei Abstufungen umfasst (vgl. ebd., S. 255):

1. Verbindung von Elementen und Beziehungen im Bezugsrahmen
2. Unterscheidung von Eigenschaften des Systems und seiner Elemente
3. Erkennen dynamischer Beziehungen
4. Vorhersage von Folgen auf Veränderungen
5. Beurteilung von Wirkungen
6. Erkennen von Rückkopplungen

60% der Teilnehmenden erreichten die höchste Vernetzungsstufe, die über monokausale Beziehungen hinausging. Die Vernetzung wurde in Anlehnung an

---

<sup>28</sup> Der Studienteil zur Untersuchung von Eingriffen ins System über ein computergestütztes Simulationsmodell ergab keine aussagekräftigen Ergebnisse. Auch aufgrund dieser Erkenntnisse wurde in der vorliegenden Studie auf computerbasierte Systembetrachtungen und Systemsimulationen verzichtet (vgl. Kapitel 6.7).

<sup>29</sup> Die Verbindung von drei oder mehr Elementen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen wurde nur von einer Minderheit der Teilnehmenden bewältigt. Diese waren hierzu jedoch bereits im Pretest in der Lage (vgl. Sommer 2006, S. 245).

Ossimitz (2000) über einen Vernetzungsindex bestimmt. Systemintegrität erkannten Kinder, wenn es um die Wegnahme oder das Hinzufügen relevanter Systemteile ging, während die Unterscheidung von isolierten bzw. vernetzten Elementen ihnen schwerer fiel. Dynamische Entwicklungen<sup>30</sup> wurde von der Hälfte der Kinder auf Basis von Allgemeinwissen beantwortet. Nur wenige Schüler\*innen konnten dynamische Zusammenhänge unter Einsatz von Fachwissen erklären. Auch Folgen von Veränderungen wurden am ehesten mit Bezug auf Allgemeinwissen erkannt. Direkte und indirekte Wirkungen wurden von einer Mehrheit der Teilnehmenden richtig beschrieben, selbst wenn Ursache und Wirkung räumlich und zeitlich getrennt lagen. Rückwirkungen wurden von zwei Dritteln der Kinder bei einfachen Systemen spontan erkannt. Bei einem umfangreichen System wurden Rückwirkungen nach einer methodischen Hinführung mündlich benannt (vgl. Sommer 2006, S. 244ff.).

Als Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Systemkompetenz wurden Vorwissen und situationales Interesse identifiziert, während kein signifikanter Einfluss von abstraktem Denkvermögen erkennbar war (vgl. ebd., S. 259).

Das von Sommer entwickelte Kompetenzstufenmodell erlaubt keine Aussage darüber, ob die formulierten Kompetenzen des Systemdenkens aufeinander aufbauen. Stattdessen sind Abstufungen „innerhalb der verschiedenen Fähigkeiten“ (ebd., S. 253) erkennbar, wobei Kompetenzkomponenten zunehmend komplexer wurden und spezifischeres Wissen erforderten. Ob zum Erreichen eines höheren Niveaus ein vorheriges Niveau erreicht werden muss, konnte in der Studie nicht ermittelt werden (vgl. ebd., S. 255).

Sommer zeigte mit ihrer Arbeit auch auf, dass schwer zu bewerten ist, welche Bedeutungseinheiten in der Modellierung wichtig sind. Sie wies zudem darauf hin, dass eine Vergleichbarkeit verschiedener Studienergebnisse angesichts unterschiedlicher Testverfahren und Systeme nicht möglich sei (vgl. ebd., S. 245ff.).

#### 4.3.6 Diagnosefähigkeit von Lehrkräften

Winter (2009) untersuchte die Diagnosekompetenz und Einstellungen von Lehrkräften im Bereich Systemdenken. Mit teilstrukturierten Leitfadeninterviews wurden Fragen zur Einstellung der Lehrenden, sowie drei Aufgabenbeispiele zum Systemdenken besprochen. Die Auswertung erfolgte mit Bezug auf das Kompetenzstufenmodell von Sommer (2006).

---

<sup>30</sup> Unterschiedliche dynamische Zusammenhänge wurden auf Ebene verschiedener Lebensphasen der bzw. jahreszeitlicher Schwankungen der Tiere in den Aufgaben betrachtet. Damit wurde Dynamik auf einer weitschrittigen Zeitskala betrachtet (vgl. Kapitel 2.1.5).



Die Art der Bewertung von Systemmodellen durch Lehrende unterteilte Winter in vier Gruppen: Eine Gruppe bestand aus logisch-analytisch Bewertenden, die ihr Urteil sorgfältig fällten. Trotzdem wurden vorgegebene Kriterien nicht immer vollständig auf die Beispiele umgelegt. Bei der interpretativen Herangehensweise wurde mit „vagen Kriterien“ und der eigenen Vorstellungskraft bewertet, wobei bei der Bewertung eine „Tendenz zur Mitte“ beschrieben wurde. Die „fachlich-biologische Herangehensweise“ (Winter 2009, S. 89) blendete ökonomische Bereiche aus oder belegt sie mit negativen Bewertungen. Bei der kriterienlosen Herangehensweise wurde die Bewertung unterlassen, was mit fehlender Zeit begründet wurde (vgl. ebd.).

Die Lehrpersonen nannten als allgemeinere Bildungsziele neben der Identifikation von Folgen und Komplexität im System auch Textverständnis und Praxisbezug.

Den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben ordneten die Lehrkräfte richtig ein und auch ihre Diagnosefähigkeit für Probleme konnte bestätigt werden: Hier nannten die Teilnehmenden unter anderem Textverständnis und das Erkennen relevanter Passagen, sowie die Überführung in Diagrammform als Herausforderung für die Systemmodellierung.

**Tabelle 4-4: Kompetenzniveaumodell (verändert nach Winter 2009, S. 99).**

Kompetenz-komponenten	niedrigstes Niveau	mittleres Niveau	höchstes Niveau
<b>Verbindung von Elementen und Beziehungen im Bezugsrahmen</b>	Elemente und Beziehungen werden nicht verbunden	Elemente und Beziehungen werden monokausal verbunden	Elemente und Beziehungen werden vernetzt
<b>Zusammenhänge</b>	keine Zusammenhänge werden erkannt	einfache, offensichtliche Zusammenhänge werden erkannt	komplexe Zusammenhänge werden erkannt
<b>Inhalte und Zusammenhänge</b>	zu wenig wichtige Inhalte sind vorhanden	ausreichend wichtige Inhalte des Textes sind vorhanden	alle wichtigen Inhalte des Textes sind vorhanden
<b>Schrift und Optik</b>	keine Strukturierung ist vorhanden, unleserlich	mangelhafte Strukturierung oder schwer leserlich	gute Strukturierung und lesbares Schriftbild sind vorhanden
<b>Beschriften der Kanten</b>	keine Beschriftung wird vorgenommen	teilweise werden die Pfeile beschriftet oder nur teilweise richtig beschriftet	alle Pfeile werden richtig beschriftet

Die Lehrenden formulierten horizontale Integrationspotentiale mit Bezug auf verschiedene Fächer, wobei der Fachbezug nicht bei allen Systembeispielen gleichermaßen ausgeprägt war.

Aus den Einschätzungen der Lehrenden leitete Winter das in Tabelle 4-4 dargestellte veränderte Kompetenzniveaumodell „zur Beurteilung von Wirkungsdiagrammen“ (ebd., S. 99) ab, das verglichen mit dem Modell von Sommer (2005) auch Schrift und Optik, sowie die Beschriftung von Relationspfeilen beinhaltet.

Elemente zur Dynamik und zur Darstellung von Rückkopplungen, die Sommer (2006) berücksichtigte, sind in dieser Darstellung nicht thematisiert.

#### 4.3.7 Tests zur Erfassung Systemischen Denkens

Ausgehend von einer Begriffsdefinition, welche, „(1) Wissen über das Systemkonzept, (2) die adäquate Modellbildung des Sachverhalts und (3) die Anwendung bzw. Simulation des Modells“ (Bräutigam 2014, S. 65) umfasst, entwickelte Bräutigam (2014) einen Paper-Pencil-Leistungstest und ein Unterrichtskonzept für Schüler\*innen der Sekundarstufe I, in dem systemisches Denken „ohne Zuhilfenahme von Computersimulationen und unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit gefördert“ (ebd., S. 140) werden sollte. Hierzu wurde eine 15-stündige Unterrichtseinheit, die durch geschulte Lehrkräfte betreut wurde, durch ein Pretest-Posttest-Design bei 20 Klassen der Sekundarstufe I begleitet.

In der Ergebnisdarstellung diskutierte die Autorin die prinzipielle Eignung des Tests und merkte an, dass bei „Systemwissen, Modellwissen und Modellanwendung“ (Bräutigam 2014, S. 142) statt einem stufenartigen Kompetenzmodell möglicherweise wechselwirkende „Prozesse, die miteinander interagieren“ (ebd., S. 142) vorliegen. Dies bestätigt die Erkenntnisse aus früheren Studien, in der Systemdenken unter Einsatz von Computersimulationsprogrammen vermittelt und untersucht wurde: Bereits in einer frühen Studien von Klieme und Maichle (1994) war festgestellt worden, dass

*„[...] systemisches Denken kein isolierbarer und mit einem einzigen Wert zu kennzeichnender Kompetenzbereich ist, sondern viel eher ein Fähigkeitsbündel, ein Zusammenspiel von unterschiedlichen geistigen Fähigkeiten, in das sich sogar Persönlichkeitseigenschaften mischen können.“ (Klieme und Maichle 1994, S. 62, in Sommer 2006, S. 34).*

Trotz verschiedener Ansätze zur Erstellung von Leistungstests im schulischen Bereich bleibt für Systemdenken und Systemkompetenz also weiterer Forschungsbedarf, beispielsweise zur Entwicklung von Kompetenzmodellen für ältere Zielgruppen (vgl. Bräutigam 2014, S. 147).

#### 4.3.8 *Systemische Darstellungsformen und multiperspektivische Wissensrepräsentationen*

In ihrer Dissertation untersuchte Hildebrandt (2006) „systemisches Denken und multiperspektivisches Lernen“ (Hildebrandt 2006, S. iv) im Biologieunterricht am Beispiel des Kohlenstoffkreislaufs. Hierbei wurde der Einfluss multiperspektivisch gestalteter Texte in einer konstruktivistischen Lernumgebung zur Förderung aktiven und selbstgesteuerten Lernens erforscht (vgl. ebd., S. 79ff.). Weiterhin wurde die Wirkung des Einsatzes von Systemmodellen auf den Lernprozess über zwei Ansätze untersucht: Die Rezeption von bereitgestellten Stock-Flow-Diagrammen wurde bezüglich ihrer Lernförderlichkeit mit der aktiven Konstruktion von Modellen verglichen. Die quantitativ ausgewertete Studie mit Schüler\*innen der Oberstufe zeigte auf, dass „[d]ie passive Rezeption“ (ebd., S. 276) von Wirkungsdiagramme lernprozessförderlich und auch für Lernende mit geringem Vorwissen zugänglich war. „Die lernprozessfördernde Wirkung von aktiven Diagrammkonstruktionen“ (ebd., S. 277) erwies sich nicht generell, sondern eher für Lernende mit Vorwissen als förderlich. Dies wurde auf die komplexen naturwissenschaftlichen Inhalt zurückgeführt. Der zweiperspektivischen Präsentation von Inhalten konnte kein klarer positiver Einfluss auf das Lernen über das gegebene System nachgewiesen werden, unter anderem, da die Teilnehmenden nur selten die über Hyperlinks bereitgestellten Zusatztexte nutzten. Insgesamt wurde dem Einsatz von Wirkungsdiagrammen eine wichtigere Rolle im Lernprozess zugeschrieben als der multiperspektivischen Präsentation von Informationen.

#### 4.3.9 *Vernetztes Denken und Nachhaltigkeit*

In einer Studie mit Grundschulkindern untersuchte Bertschy Kaderli (2007), in welcher Form Unterricht zur nachhaltigen Entwicklung vernetztes Denken beeinflusst. Dabei wurde die Systembetrachtung aus verschiedenen Perspektiven ins Zentrum der Untersuchung gestellt (vgl. ebd., S. 31). Vernetztes Denken wurde hierbei über „Perspektivenidentifikation bzw. -differenzierung, die Folgenbetrachtung und die Perspektivenzusammenführung“ (ebd., S. 12) definiert. In einer Interventionsstudie mit begleitendem Pre- und Posttest wurde die Wirkung einer Unterrichtseinheit auf das vernetzte Denken analysiert, wobei insbesondere der Umgang der Schüler\*innen mit Akteuren und Akteursinteressen betrachtet wurde. Auch Folgen für verschiedene Akteure, sowie die Zusammenführung von Perspektiven, z.B. im Rahmen von Konfliktsituationen oder über Win-Win-Strategien, wurden thematisiert (vgl. ebd., S. 65ff.) Bezüglich der Dimensionen vernetzten Denkens konnte empirisch nicht nachgewiesen werden, ob „Perspektivenidentifikation und -differenzierung eine Voraussetzung für die Folgenbetrachtung [ist]“ (ebd., S. 155).

Bezüglich der Frage, ob vernetztes Denken „[...] eine übergeordnete Fähigkeit [...] ist oder [ob] diese noch bereichsspezifisch [ist]“ (Bertschy Kaderli 2007, S. 155), wurde für das Themenfeld der nachhaltigen Entwicklung die Vermutung formuliert, dass sowohl „spezifisches Wissen zum Unterrichtsthema“ (ebd., S. 156) als auch Übung in der systematischen Zusammenführung von Perspektiven benötigt werden, um vernetztes Denken im Grundschulalter zu fördern. Bei der Zielgruppe der Grundschüler\*innen wurde hierbei fehlende Kontrolle über die „Konsistenz der Wissensbestände bzw. Wirklichkeitsinterpretationen“ (ebd., S. 157) konstatiert. Neben umfangreicheren Übungseinheiten wurden als Unterstützungsmaßnahmen auch die Förderung des Bildens von Meinungen und Vermutungen und das Aufzeigen der Bedeutung neu erworbenen Wissens empfohlen (vgl. ebd.).

#### *4.3.10 Zusammenfassung und Bedeutung für die eigene Studie*

Die dargestellten Studien zeigen verschiedene bildungswissenschaftliche Forschungsergebnisse zu systemischem Denken auf. Es kann einerseits bezüglich der untersuchten Darstellungsformen von Systemmodellen unterschieden werden: Neben Stock-Flow-Diagrammen wurden auch Wirkungsdiagramme oder andere qualitative Darstellungsformen zur Erforschung des Systemdenkens eingesetzt.<sup>31</sup> Weiterhin variierte die Bildungsstufe der untersuchten Teilnehmergruppen von Grundschüler\*innen bis zu Hochschulabsolvent\*innen und Lehrkräften. Hierbei lag der Fokus der Bildungsforschung mit Studierenden im Umfeld der System Dynamics Modellierung bei Ansätzen, die Ausprägungen von Systemdenken anhand einer spezifischen Komponente dynamischer Komplexität untersuchten und häufig mit quantitativen Methoden auswerteten.

Studien im schulischen Umfeld wurden meist als Pretest-Posttest-Design im Kontext einer Unterrichtseinheit zu systemischem bzw. vernetztem Denken durchgeführt. Die Studie von Ossimitz (2000) diente hierbei als Ausgangspunkt für weitere Studien. Zielsetzung war meist die Beschreibung von Bestandteilen einer „Systemkompetenz“ oder die Analyse von Bestandteilen des „Systemdenkens“. Zusammengefasst befindet sich der Forschungszweig der bildungswissenschaftlichen Untersuchung von Systemdenken in einem Entwicklungsprozess, der weitergeführt werden kann, z.B. um Unterrichtskonzepte und Testinstrumente für verschiedene Altersgruppen zu entwickeln (vgl. Bertschy Kaderli 2007, S. 163, Sommer 2006, S. 248) bzw. weitere Fächer und Themenbereiche zu integrieren (vgl. Bräutigam 2014, S. 148).

Es standen meist einzelne Elemente eines Systemdenkens im Fokus der Studien: So wurde entweder das Verständnis für Aggregationen in Stock-Flow-Modellen, oder die

---

<sup>31</sup> Studien, deren Schwerpunkt im Umgang mit Computersimulationen liegen, wurden in dieser Arbeit nicht aufgeführt.

Vernetzung von Systemgrößen, oder die Betrachtung von Systemen aus der Sicht verschiedener Akteure ins Zentrum der Unterrichtseinheit und der begleitenden Studien gestellt.

Die grundsätzlichen Fragen, ob Systemkompetenz eine übergeordnete Kompetenz oder bereichsspezifisch ist, und inwiefern Stufenmodelle eine geeignete Beschreibung für Systemkompetenz bieten, wurden bislang nicht klar beantwortet. Besonders bei jüngeren Schüler\*innen, die über weniger Kontrolle in der Konsistenz ihrer Wissensbestände verfügen, scheinen sowohl fachspezifisches Wissen als auch Elemente des Systemdenkens einen Einfluss zu haben. Andererseits kann hieraus die Frage abgeleitet werden, inwieweit fortgeschrittene Lernende wie Hochschulabsolvent\*innen, die die Konsistenz ihres Wissens besser reflektieren können, Systemmodellierung in einem multidisziplinären Kontext einsetzen können.

Bezüglich eines mehrperspektivischen Systemverständnisses auf Basis einer Systemmodellierung kann auf den Ansatz von Hildebrandt (2006) verwiesen werden: Hier wurde eine konstruktivistische Lernumgebung gestaltet, die den selbstgesteuerten Zugriff auf Zusatzinformationen und das Einbinden einer weiteren Perspektive ermöglichte.

Diese Idee kann weitergeführt werden, indem schon die Formulierung der Frage zur Systembetrachtung eine aktive Auswahl von Perspektiven ermöglicht und damit eine mehrperspektivische Systembetrachtung unterstützt. Ein solcher Schritt bedeutet für Lernende auch die aktive Synthese von eigenen Modellen. Mit Bezug auf die Zielgruppe Studierender kann das Lernen durch aktives Modellieren im Gegensatz zu rezeptiv-analysierenden Vorgehen (vgl. Kapitel 4.3.3) als alternativer Zugang zur Systemmodellierung verstanden werden. Die Ergebnisse von Hildebrandt (2006) deuten darauf hin, dass dieser aktive Umgang mit Systemdiagrammen verständnisfördernd wirken kann, wenn die Modellierungsmethodik oder fehlendes Vorwissen keine Hürde darstellen (vgl. Hildebrandt 2006, S. 176ff.). Ein aktiv-konstruierendes Modellierungskonzept in der Hochschullehre ist auch im Sinne der Qualifikationsziele für Hochschulabsolvent\*innen interessant, die in Kapitel 4.5 beschrieben wurden.

## 4.4 Modellierung im Ingenieurstudium – ein konstruktivistischer Zugang

Im Folgenden sind Konzepte einer konstruktivistischen Ingenieurdidaktik beschrieben. Diese bildet, besonders im englischsprachigen Raum, eine Grundlage zur Entwicklung einer Ingenieurdidaktik, die auf dem Konzept von Modellen und Modellierung beruht (vgl. Lesh et al. 2010).

### 4.4.1 Konstruktivistische Didaktik

Konstruktivismus versteht Lernen als „aktiven und selbstgesteuerten Prozess“ (Riemeier 2007, S. 69).

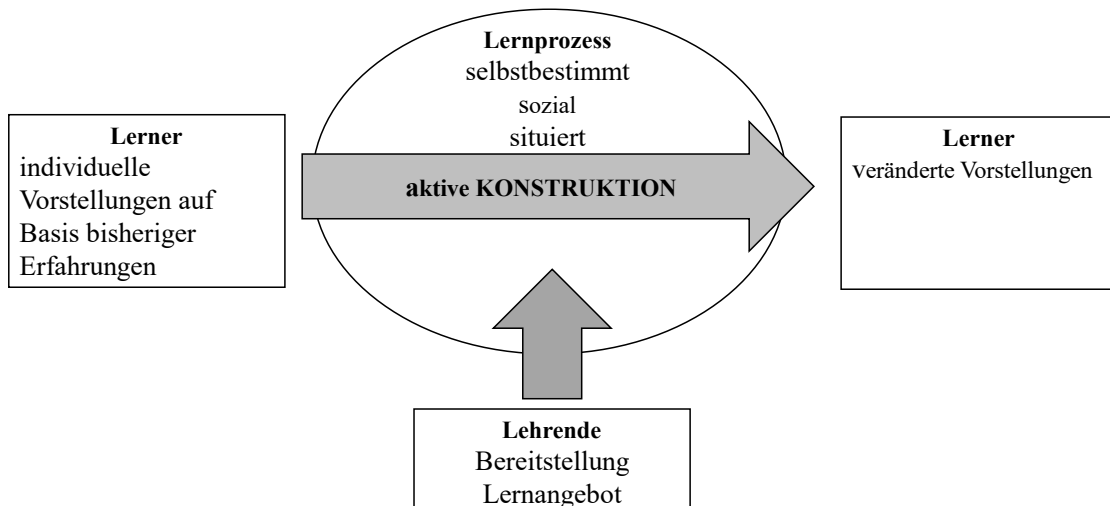
*„Lernen ist ein aktiv-konstruktiver Prozess, der stets in einem bestimmten Kontext und damit situativ sowie multidimensional und systemisch erfolgt.“ (Reinmann-Rothmeier und Mandel 1997, S. 366 in Siebert 2012, S. 60).*

In einer gemäßigt konstruktivistischen Didaktik sollen Lerninhalte an bekanntes Wissen anschließen, einen Praxisbezug aufweisen und einen „biografischen Erfahrungsbezug vermitteln[n]“. Lernumgebungen sollen anregend sein und verschiedene Kontexte anbieten, sowie selbstgesteuertes Lernen fördern. Dieses Verständnis von Didaktik befürwortet zudem die Wahrnehmung von Unterschieden, eine Verschränkung von Perspektiven, aber auch eine Vernetzung von Inhalten. Auch die „Beobachtung II. Ordnung“ (Siebert 2012, S. 60) d.h. eine Reflexion des eigenen Lernprozesses, soll unterstützt werden. In der gemäßigt konstruktivistischen Didaktik können Perturbationen und Überraschungen zugelassen, wissenschaftliche Erkenntnisse infrage gestellt oder Wissen emotional gefärbt werden. Konstruktivistische Didaktik stellt damit einen Gegenpol zur Instruktion im Sinne einer fremdbestimmten Input-Output-Didaktik dar (vgl. ebd.).

Neben dem moderaten Konstruktivismus existieren weitere Ausprägungsformen des Konstruktivismus, deren Gemeinsamkeiten sich nach Riemeier (2007) über vier Annahmen beschreiben lassen:

- 1) „Lernen ist konstruktiv“ (Riemeier 2007, S. 70), d.h. Menschen konstruieren Vorstellungen ausgehend von existierenden Vorstellungen.
- 2) Vorstellungen über Vorgänge und Ereignisse sind hypothetisch und vorläufig
- 3) Konstruierte Vorstellungen müssen für die Person brauchbar sein.
- 4) Obwohl Vorstellungen individuell konstruiert werden, ist dies in einen sozialen Kontext eingebettet (vgl. Gropengießer und Marohn 2018, S. 55, Riemeier 2007, S. 70).

Diese Annahmen des didaktischen Konstruktivismus sind in Abbildung 4-6 zusammengefasst.



**Abbildung 4-6: Elemente der konstruktivistischen Sichtweise von Lernen (verändert nach Riemeier 2007, S. 70).**

Für die vorliegende Studie ergeben sich folgende Bezüge zu einem konstruktivistischem Lernsetting.

- Das Konzept einer konstruktivistischen Didaktik korrespondiert in gewisser Form mit dem iterativen, prozesshaften Charakter der Systemmodellierung.
- Das eigene Studiendesign greift Elemente einer konstruktivistischen Didaktik auf, indem u.a. eine freie Themenwahl, sowie die Interaktion im Lernprozess gefördert werden.
- In der Studie wird der Lernprozess von Teilnehmenden im Kontext individueller Vorerfahrungen untersucht. Somit ist der Modellierungs- und Lernprozess, nicht nur der „Output“ Untersuchungsgegenstand der Studie.

Angehende Ingenieur\*innen lernen unter anderem, bestehende Systeme zu beschreiben oder neue Systeme zu entwerfen (vgl. Moore et al. 2013, S. 244), Forschung zum Lernprozess bei Ingenieur\*innen kann auch die Beschäftigung mit dem Prozess des Modellierens umfassen, der aufzeigen kann, in welcher Form Systemmodellierung sich entwickelt.

#### 4.4.2 Novizen modellieren anders als Experten

Aus verschiedenen Studien ist bekannt, dass Studienanfänger\*innen des Ingenieurwesens als „Novizen“ das Lösen von Problemen mit einem fragmentierten, unvollständigen Wissen und instabilen Darstellungsformen starten. Moss et al. (2006) beschrieben im Studienbereich der Konstruktion (engl. *engineering design*), dass Novizen beim Zergliedern eines Problems durch *hierarchichal chunking* zwar auf eine Zerlegung zurückgriffen, hierbei jedoch eine weniger integrative Sicht als erfahrene

Ingenieur\*innen nutzten und die modulare Strukturen noch nicht zielführend zur Ableitung von Lösungen zerlegten.

Eine Übersetzung zwischen Darstellungsformen kann laut den Autoren dazu beitragen, die fragmentierten Lösungsansätze der Novizen durch kohärente Lösungsansätze zu ersetzen (vgl. Moss et al. 2006, S. 65ff.).

Weiterhin wurde beobachtet, dass Novizen bei der Modularisierung einen *depth-first* Ansatz wählten, bei dem zunächst eine Betrachtung in der Tiefe erfolgte (vgl. Ball et al. 1994, in Moss et al. 2006, S. 67).

#### 4.4.3 *Models and Modeling Perspective*

Modellierung wird in der konstruktivistischen *Models and Modeling Perspective* als iterativer, nichtlinearer Prozess verstanden (vgl. Zawojewski et al. 2008, in Moore et al. 2013, S. 142), bei dem Modelle bewusst oder unbewusst zur Systembeschreibung eingesetzt werden. Hierbei wird eine weite Begriffsdefinition von Modellen zugrundegelegt:

„A model is a system for describing or designing some other system for some specific purpose [...] it is possible to use a model without much awareness of its existence.“ (Lesh 2010, S. 18).

*Model Eliciting Activities* (MEA) sind offen formulierte Problemstellungen, die in einem für Ingenieurstudierende authentischen Kontext das Verständnis für Konzepte und Verfahren fördern sollen (vgl. Moore 2013, S.146, Lesh 2010, S. 27). In Lernsituationen wird für MEA eine Prozessorientierung als Ausbildungsziel formuliert: MEA umfassen wiederholt Phasen des Testens, Verfeinerns und Anpassens, sowie eine Dokumentation des Lernprozesses, aber auch die Selbstbewertung und die Prüfung der allgemeinen Eignung des entwickelten Modells (vgl. Diefes-Dux et al., F1A-4).

Beim Externalisieren von Denkprozessen sollen einerseits Herausforderungen aufgedeckt und andererseits ein zunehmend souveränes, kohärentes Modell bzw. Lösungsverfahren entwickelt werden (vgl. Moore et al. 2013, S. 142ff.).

In der Ingenieurpraxis werden mathematische und physikalische Modellierungsansätze mit anderen Methoden wie Heuristiken und Bewertungen kombiniert (vgl. Zawojewski et al. 2008, in Moore et al. 2013, S. 142, Ehrlenspiel 2014, S. 50ff.). Aus der *Models and Modeling Perspective* sind daher mehr als mathematische Aspekte in formalisierter und nicht-formalisierter Darstellungen für das Modellverständnis relevant: „beyond-mathematical aspects of thinking are important parts of the models that students develop to make sense of their experiences“ (Lesh 2010, S.35).<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> Hierbei können auch reflektierende Aktivitäten, beispielsweise über metakognitive Vorgänge, Einstellungen, Dispositionen, Werte und Gefühle umfasst sein (ebd.).



Zu den Kernelementen des Lernens bei Ingenieur\*innen gehört in dieser Vorstellung die permanente Neuinterpretation von Gegebenheiten und das aktive Aufdecken ihrer Modelle:

*“[it is] important for students to unpack their models - so that connections among ideas are apparent which advance formal understandings and abilities.” (Lesh et al. 2010, S. 41).*

Lernende erkennen und beschreiben, dass ihre Vorstellungen vorläufig sind, und dass beispielsweise schulmathematische Ansätze nur ein Ausgangspunkt für die weitere Beschäftigung mit einem Problem darstellen. Die Entwicklung von Modellen unterstützt weiterhin dazu, von intuitiven und vorläufigen auf formalisiertere Vorstellungen überzugehen (vgl. Moore et al. 2013, S. 166ff.).

#### 4.4.4 *Lesh Translation Model*

In der *Models and Modeling Perspective* stellen Darstellungsformen oder Repräsentationen (engl. *representations*) die primäre Form des Diskurses zwischen Ingenieur\*innen dar (vgl. Johnson-Glauch et al. 2020, S. 443). Der Wechsel zwischen Darstellungsformen bei der Bearbeitung von Aufgaben wird über das Lesh Translation Model (LTM) abgebildet (vgl. Abbildung 4-7).

Das Modell umfasst fünf empirisch ermittelte Repräsentationsformen, die von Lernenden eingesetzt werden (weiße Elemente in Abbildung 4-7). In Abbildung 4-7 sind zudem korrespondierende externe Darstellungsformen als graue Elemente ergänzt.

Über diese Darstellungsformen werden Fähigkeiten, Konzepte und Situationen in unterschiedlicher Weise abgebildet. Ein Wechsel zwischen Darstellungsformen beeinflusst das Konzeptverständnis und wird als Ausgangspunkt für ein tieferes Verständnis im Ingenieurwesen gesehen (vgl. Moore et al. 2013, S. 146, Johnson-Glauch et al. 2020, S. 444f., Lesh und Doerr 2003, S. 11ff.).

#### 4.4.5 *Representational Fluency*

In einer Studie, bei der die Arbeitsdokumente und Ergebnisse einer MEA-Aufgabe ausgewertet wurden, fanden Moore et al. (2013), dass Teilnehmende von einem anfangs unvollständigen und auf Einzelaspekte konzentrierten Blick einen zunehmenden Wechsel zwischen Darstellungsformen unter Berücksichtigung weiterer Perspektiven erreichten. Die Weiterentwicklungen über Differenzierung, Integration, Überarbeitung, Neuorganisation und Verwerfen von Ideen erfolgten dabei oft vernetzt und teilweise parallel.

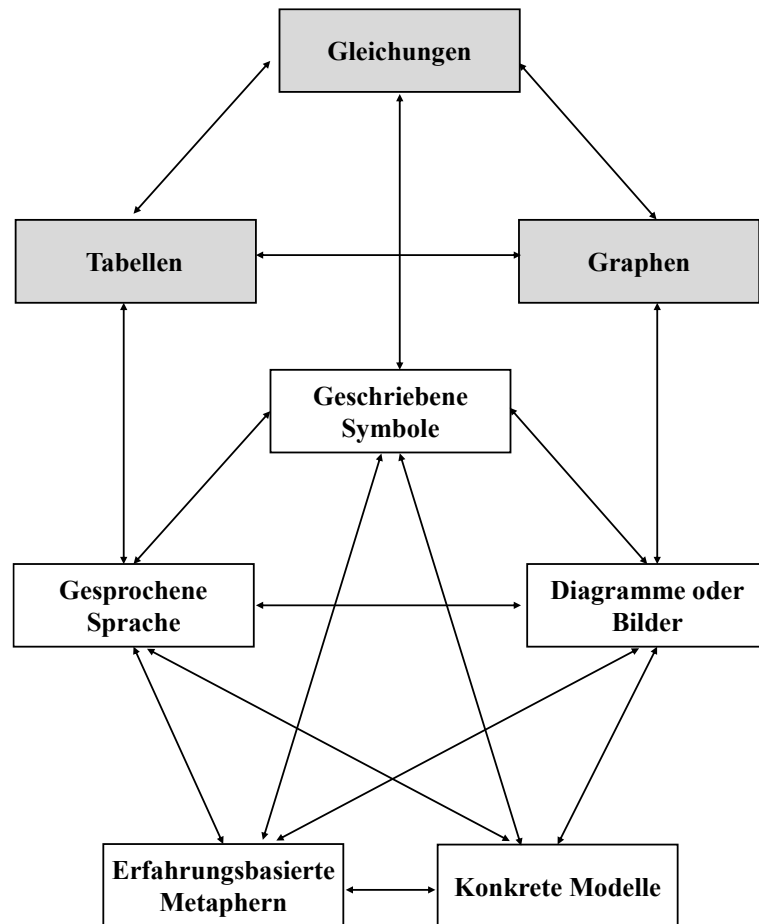


Abbildung 4-7: Lesh Translation Modell, erweitert durch Darstellungsformen für Konzeptmodelle (graue Markierung), (verändert nach Lesh und Doerr 2003, S.12).

Das Konzept der *Representational Fluency* bildet diesen Übergang ab und beschreibt, dass ein Wechsel zwischen Darstellungsformen das Konzeptverständnis verbessert, da die Darstellungsformen verschiedene Konzepte ausdrücken.

*„Consequently, the idea of representational fluency underlies some of the most important abilities related to developing conceptual understandings of important ideas and abilities. Different representations emphasize different aspects of the concepts being expressed or system being described, and meanings tend to be distributed across a variety of representations“ (Moore et al. 2013, S. 146 f.)*

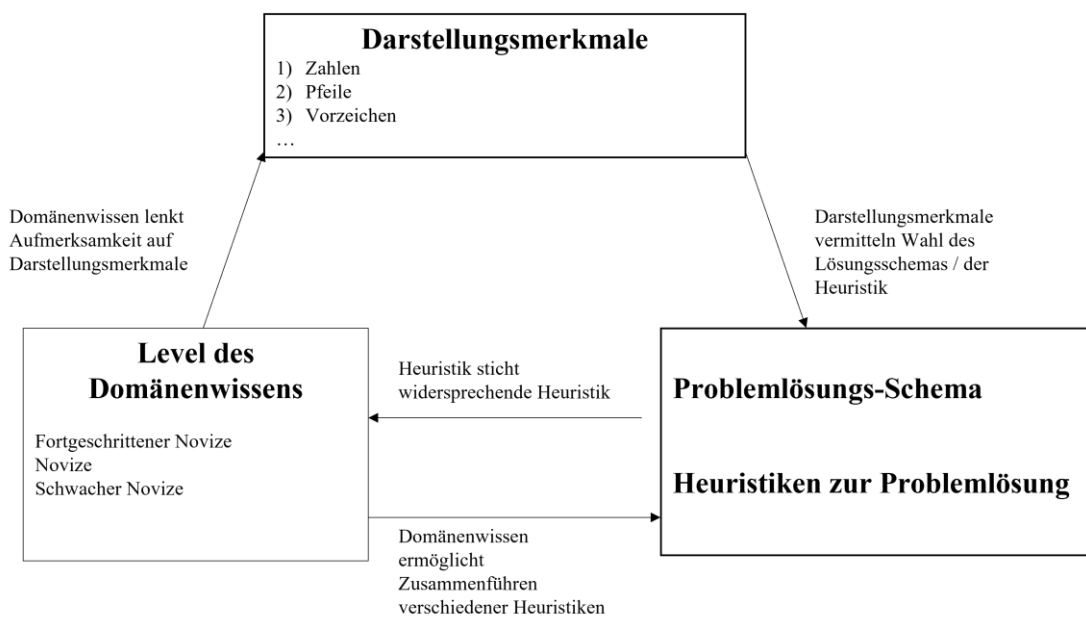
Im Rahmen der Studie wurden Lernumgebungen vorgeschlagen, in der Lernende, eingebettet in einen für sie bedeutsamen Anwendungskontext bzw. realweltliche Situation, verschiedene Darstellungsformen einsetzen können, um naive oder falsche Vorstellungen zu revidieren und ein vertieftes individuelles Verständnis betrachteter Systeme zu erwerben. Auch der Wechsel zwischen Abstraktionsebenen und die Arbeit in Gruppen wurden als förderliche Elemente benannt (vgl. Felder et al. 2000, in Moore et al. 2013, S. 167).

*Representational fluency* könnte sich auch dazu eignen, den Übergang zwischen konkreter und abstrakter Formulierung, sowie den Wechsel zwischen internen und externen Darstellungsformen zu fördern und als Bestandteil einer integrativen MINT-

Didaktik genutzt werden (vgl. Moore et al. 2013, S. 166ff., Moore et al. 2018, Lesh und Doerr 2003, S. 10ff.).

#### 4.4.6 Kognitive Salienz

Die Fokussierung auf einzelne (möglicherweise auch falsche) methodische oder inhaltliche Ansätze in der Modellierung wird über das Konzept der kognitiven Salienz beschrieben: Johnson-Glauch (2019) entwickelte hierzu ein Modell von Hegarty (2014) weiter, das Aufgabe/Problemstellung, Domänenwissen und Eigenschaften der Darstellung zueinander in Bezug setzt (vgl. Abbildung 4-8).



**Abbildung 4-8: Graphische Zusammenfassung, wie Studierende mit unterschiedlichem Domänenwissen Darstellungsmerkmale zur Problemlösung nutzen (verändert nach Johnson-Glauch und Herman 2019).**

Welche Informationen aus einer externen Darstellung hervorstechen, bzw. salient<sup>33</sup> erscheinen und damit von Anwender\*innen des Modells erkannt werden, hängt von der Wahrnehmung der Person ab. Diese Wahrnehmung wiederum beeinflusst, welche interne Darstellung und welches Lösungsschema genutzt werden.

Andererseits beeinflusst auch das Domänenwissen das mentale Modell und lenkt die Aufmerksamkeit der Lernenden auf gewisse Darstellungsformen. Die Rückkopplung zwischen Domänenwissen und Lösungsansatz kann in beide Richtungen erfolgen: Während Fachwissen dazu beiträgt Problemeigenschaften zu erkennen und geeignete Lösungsheuristiken zu identifizieren, können andersherum intrinsisch saliente

<sup>33</sup> „salient“ wird im Deutschen auch mit auffallend, ins Auge springend übersetzt (Dudenredaktion o.D.).

Eigenschaften der Darstellung dazu beitragen, geeignetes Fachwissen und Lösungsstrategien zu aktivieren (vgl. Johnson-Glauch und Herman 2019, Johnson-Glauch et al. 2020, S. 445ff.).

#### **4.5 Qualifikationsrahmen für deutsche Hochschulabschlüsse**

Die Kultusministerkonferenz formuliert Qualifikationsziele für deutsche Hochschulabschlüsse, deren Grundlagen im Folgenden dargestellt und mit Bezug auf das Forschungsanliegen eingeordnet werden (vgl. KMK 2005, 2017).

Absolvent\*innen eines Bachelor- bzw. Masterstudiums sollen neben fachlichen Kompetenzen auf Ebene des Wissens und Verstehens auch methodische Kompetenzen erwerben. Weiterhin werden als Sozialkompetenzen Kommunikation und Kooperation, sowie als Selbstkompetenz Professionalität bzw. wissenschaftliches Selbstverständnis unterschieden (vgl. KMK 2017, S. 4, nach Roth 1971). Die Ausprägung der Qualifikationsziele wird im Qualifikationsrahmen nach Abschluss gestaffelt dargestellt: Bereits im Bachelorstudium soll im eigenen Fachbereich ein „breites und integriertes Wissen und Verstehen“ (KMK 2005, 2017, S. 2) erworben werden, das auf Masterniveau breit und detailliert zu vertiefen ist. Zudem wird der Aufbau eines kritischen Verständnisses gefordert, der bei Technikstudierenden zum Beispiel die Entwicklung eines öko-sozio-technologischen Systemverständnisses umfassen kann (vgl. Abschnitt 5.3).

Bereits Bachelorabsolvent\*innen sollen Aussagen „in Bezug zum komplexen Kontext“ (KMK 2017, S. 6) sehen und Alternativen abwägen können: Problemstellungen sollen „vor dem Hintergrund möglicher Zusammenhänge mit fachlicher Plausibilität gelöst“ (ebd.) werden. Bei Masterabsolvent\*innen ist zudem die Abwägung methodischer Überlegungen gefordert. Auch der Umgang mit verschiedenen Perspektiven und Akteuren wird, besonders für Masterabsolvent\*innen, als Qualifikationsziel benannt: Methodisch sollen sie Grenzen ihres Fachgebiets überschreiten und „[...] ihr Wissen und Verstehen sowie ihre Fähigkeiten zur Problemlösung auch in neuen und unvertrauten Situationen anwenden [können], die in einem breiteren oder multidisziplinären Zusammenhang mit ihrem Studienfach stehen“ (ebd., S.8).

Auf Ebene der Zusammenarbeit und Kommunikation wird die Kompetenz zum fachlichen Austausch in verschiedenen Handlungsfeldern, auch außerhalb des akademischen Bezugsrahmens gefordert. Absolvent\*innen sollen sich über „alternative, theoretisch begründbare Problemlösungen“ (ebd., S. 9) auszutauschen können. Sie sollen „Konfliktpotentiale in der Zusammenarbeit mit Anderen [erkennen] und [...] diese vor dem Hintergrund situationsübergreifender Bedingungen [reflektieren können]“ (ebd.), aber auch die Handlungskompetenz zur „Durchführung

von situationsadäquaten Lösungsprozessen“ (ebd.) durch „konstruktives, konzeptionelles Handeln“ (ebd.) erwerben.

Insgesamt zeichnen sich mit Bezug auf die Qualifikationsziele von Studierenden die Erwartung einer Professionalität und eines reflektierten Handelns in einem komplexen Anforderungsrahmen ab. Die Forderung nach einem Handlungsbezug, aber auch die Beschäftigung mit den Bedingungen und Folgen des Handelns, die hier als allgemeine Qualifikationsziele formuliert werden, finden sich auch in der Technikdidaktik (vgl. Schmayl und Wilkening 1995, S. 12ff., Geißel und Gschwendtner 2018, S. 171ff.).

Das folgende Kapitel stellt daher Mehrperspektivität im Kontext der Technikdidaktik dar.

## 5 Mehrperspektivität

In der Technikdidaktik ist ein mehrperspektivisches Verständnis, das verschiedene fachliche Disziplinen, aber auch organisationale Ebenen vernetzt, geläufig (vgl. Ropohl 1999, S. 31ff.). Nach einer Klärung des Technikbegriffs wird in diesem Kapitel Mehrperspektivität im Verständnis der Allgemeinen Technologie nach Ropohl eingeordnet und beschrieben. Zuletzt wird die Energiewende als mehrperspektivisch betrachtbares System für die vorliegende Studie vorgestellt.

### 5.1 (Mehr-)Perspektivität und Systemmodellierung

Erweitert man das Verständnis für systemisches Denken über die bislang dargestellte Form der Systemmodellierung hinaus, in der Komplexität mit Bezug auf die zeitliche Veränderlichkeit von Systemen betrachtet wurde, so sind weitere Einflüsse auf Komplexität von Systemen in verschiedenen Akteuren und ihr Interessen bzw. Sichtweisen auf eine Problemstellung zu finden (vgl. Bertschy Kaderli 2007, S. 44).

Besonders, wenn in einem interdisziplinären Kontext Systemmodellierung dazu eingesetzt werden soll Veränderungen zu bewirken, wenn also gelernt werden soll, „[...] Eingriffspunkte für erfolgreiche Veränderungen zu finden“ (Meadows et al. 2019, S. 45), ist es nötig, das „Schubladendenken“ der eigenen Fachdisziplin zu verlassen und Fachgrenzen zu überschreiten (vgl. ebd. S. 37).

Systemansätze können neben der bereits dargestellten Funktion der Darstellung dynamischer Komplexität auch das Erschließen verschiedener Perspektiven erleichtern, da Systemdenken auch einen Wechsel der Blickrichtung fördern kann:

*“A systems approach begins when first you see the world through the eyes of another” (Churchman 1968, S. 231, in Reynolds, Martin, Holwell, Sue 2010, S. 8).*

Die Vielfalt von Akteuren und ihre unterschiedliche Zielstellungen<sup>34</sup>, die sich insbesondere in Realsituationen finden, beeinflussen bereits den Beginn eines Modellierungsprozesses: Sie führen dazu, dass es herausfordernd ist, eine spezifische Zielsetzung als Ausgangspunkt für die Modellierung zu identifizieren. Der Iterationszyklus für Systemmodellierung bildet diese Herausforderung durch eine dynamische Hypothese ab (vgl. Kapitel 3.2.1), die im Laufe des zyklischen Modellierungsprozesses angepasst werden kann. Diese Dynamik der Modellierung wird jedoch in der Hochschulausbildung beim Systemmodellieren nur bedingt

---

<sup>34</sup> Diese akteursbezogene Sicht wird insbesondere auch bei Strömungen des Systemdenkens berücksichtigt, welche Systeme als „Epistemologien“, also als Erklärungsansätze und weniger als existierende „Ontologien“ verstehen (vgl. Kapitel 2.1.1, Ison 2010, S. 29).

berücksichtigt: In dem von Schaffernicht und Groesser (2016) dargestellten Kompetenzrahmen für die *System Dynamics* Ausbildung beispielsweise ist der Kontakt mit realweltlichen Problemstellungen erst spät vorgesehen; Akteursvielfalt und Zielpluralität sind als Einflussfaktoren auf die Komplexität von Systemen somit zunächst kaum berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.3.3). Im Folgenden wird dargestellt, in welcher Form (Mehr-)Perspektivität in den Lernprozess der Modellierung mit Wirkungsdiagrammen integriert werden kann.

### *5.1.1 Systeme und Perspektivität*

Bereits im Schulcurriculum ist die mehrperspektivische Betrachtung von Systemen verankert: Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung berücksichtigt inhärent „[v]om Menschen geschaffene Systeme“ (Rieß 2013, S. 60) unter verschiedenen Perspektiven und ist als Leitperspektive der „Bildung für Nachhaltige Entwicklung“ in den Bildungsplänen festgehalten (vgl. ZSL Baden-Württemberg 2016).

Es ist somit naheliegend, die Perspektiven bzw. Dimensionen der Nachhaltigkeit, nämlich Umwelt, Wirtschaft und Soziales (vgl. Hauff 1987, Bertschy Kaderli 2007, S. 16), als Ausgangspunkt für mehrperspektivische Systemmodellierung auch im Kontext der Hochschulausbildung zu wählen. Technik wird in der vorliegenden Arbeit als vierte Dimension bzw. „Perspektive“ berücksichtigt: Gesellschaften versuchen Probleme mithilfe technischer Lösungen zu reduzieren. Beispielsweise soll durch Technologien eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcendurchsatz erreicht werden (vgl. Meadows und Wright 2009, S. 42, Weizsäcker und Wijkman 2017, S. 150). Die technische Finalität ist also wichtiger Bestandteil in der mehrperspektivischen Betrachtung von Systemen und insbesondere in der Technikdidaktik relevant (vgl. Schmayl und Wilkening 1995, S. 89).

Wird eine „Einordnung [der Technik] in den größeren menschlichen Rahmen“ (Moser 1973, S. 12, in Schmayl und Wilkening 1995, S. 13) als Qualifikationsziel für Technikstudierende verstanden, so ist also die Beschäftigung mit Technik und ihre Vernetzung mit weiteren Perspektiven für Technikstudierende von Bedeutung.

### *5.1.2 Akteure und Zielpluralität in der Systemmodellierung*

Die Vernetzung von Perspektiven drückt sich unter anderem in unterschiedlichen Interessen und Zielen aus, welche verschiedene Akteure als Beteiligte einer Situation mitbringen.

Akteure sind Personen oder Institutionen, die an Aktionen bzw. Aktivitäten innerhalb eines Systems beteiligt sind. Sie können individuell oder kollektiv als Akteursgruppen auftreten. Verschiedene Akteure betrachten ein System aus verschiedenen Perspektiven (vgl. Meadows et al. 2019, S. 4, Bertschy Kaderli 2007, S. 44).

Sie bringen zudem akteurspezifische Interessen ein. Im Sinne eines nachhaltigen Handels sollten Akteure „nicht nur vor dem Hintergrund der Interessen einer Dimension [der Nachhaltigkeit] handeln“ (Bertschy Kaderli 2007, S. 44), sondern gesamtgesellschaftliche Ziele verfolgen.

Verschiedene Akteursinteressen implizieren auch eine Vielfalt an Zielen. Diese können sich räumlich oder bezüglich ihrer Organisationsstruktur unterscheiden (lokal, national, global), aber auch zeitliche Unterschiede aufweisen (kurz-, mittel- oder langfristig). Auch unterschiedliche Priorisierungen sind möglich (vgl. Bertschy Kaderli 2007, S. 43, Ropohl 1999, S. 146ff.). Das Zusammenwirken über „Zielkonflikte und Zielharmonien“ (Bertschy Kaderli 2007, S. 43) ist für das Systemverständnis relevant; Systemmodellierung kann hierbei dazu beitragen, unter Ausgangsbedingungen, die durch Widersprüche, Unsicherheiten und unvollständiges Wissen geprägt sind, Entscheidungen zu treffen (vgl. Bertschy Kaderli 2007, S. 44, Meadows et al. 2019, S.214ff.).

Die direkte Interaktion mit Akteuren und den von ihnen eingebrachten Sichtweisen und Zielen ist im Bereich der System Dynamics Modellierung aus Beratungen bekannt (vgl. Lane 1992, Sterman 2000, Gomez 1981).<sup>35</sup> In Standardlehrwerken wird der iterative Charakter des Modellierungszyklus zwar benannt (vgl. Kapitel 3.2, Pruyt 2013, S. 46); die Betrachtung von Akteursinteressen erfolgt jedoch in der Grundlagenausbildung der Systemmodellierung selten, da Modellierung exemplarisch, ausgehend von der Analyse gegebener kleiner Systeme erlernt wird, bei denen auch perspektivische Grenzen vorgegeben sind (vgl. Kapitel 4.3.3).

Die vorliegende Arbeit verfolgt demgegenüber ein Konzept, das die Beschäftigung mit Perspektivität bereits früh in den Modellierungsprozess einbindet: Anstelle verschiedene Perspektiven in den späten Phasen des Modellierungszyklus (Testens und Implementieren) zu betrachten, sollen verschiedene Sichtweisen auf realweltlicher Situationen bereits bei initialen Formulierung der Problemstellung betrachtet und somit ein Bewusstsein für die Veränderungen von Systemzusammenhängen und Modellstrukturen durch verschiedene Akteure, Perspektiven und einhergehende Zielsetzungen gefördert werden. Dies ist kompatibel mit einem moderat konstruktivistischen Didaktikverständnis (vgl. Kapitel 4.4) und wird in Kapitel 5.3.6 am Beispiel des Systems der Energiewende beschrieben.

---

<sup>35</sup> Dies findet sich beispielsweise in den Weltmodellen des Club of Rome, welche unter anderem die Begrenztheit von Ressourcen in Bezug zum Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum und Umwelteinflüssen untersuchten (vgl. Bossel 2004).



### 5.1.2.1 Veränderlichkeit von Systemmodellen als Voraussetzung für Mehrperspektivität

Grundlage für eine perspektivoffene Form der Systemmodellierung bildet die Veränderlichkeit von Systemmodellen: Wird die Systemgrenze nicht vorab vorgegeben, sondern eine Realsituation in einer Struktur- und Verhaltenskomplexität modelliert, die bedarfsangemessen verschiedene Perspektiven berücksichtigt, so manifestiert sich im Systemmodellen insbesondere die Modelleigenschaft Zweck- und Individuenbezugs (vgl. Kapitel 2.2.1). Die Besonderheit der Systemmodellierung liegt darin, dass über die dynamischen Hypothese eine Anpassung des Modellzwecks möglich ist. Teil des Modellierungsprozesses ist es, bei realweltlich komplexen Handlungsfeldern aus verschiedenen denkbaren Systemmodellen für dieselbe Ausgangssituation (vgl. Reis und Szczyrba 2010, Meadows et al. 2019, Bertschy Kaderli 2007) ein geeignetes Modell zu wählen, beispielsweise indem die Sichten unterschiedlicher Akteure eingebunden werden.<sup>36</sup>

Die Veränderlichkeit der Systemmodelle ist im Folgenden noch einmal mit Bezug auf den Modellierungsprozess beschrieben: Schon bei der Formulierung einer Leitfrage ist Perspektivität relevant: So kann das Verständnis des Modellurhebers von dem anderer Beteiligter abweichen und die Wahl der Modellierungsstrategie beeinflussen. Im Austausch mit Akteuren können die Übernahme, Neupriorisierung, Zusammenführung von Perspektiven, oder auch eine differenzierte Folgenbetrachtung erforderlich werden (vgl. Bertschy Kaderli 2007, S. 32).

Die iterative Modellierung (vgl. Kapitel 3.2.1) erlaubt, sich der Suche nach Eingriffspunkten in komplexen Systemen zyklisch zu nähern. Während dieses Konzept für Anwendungsbeispiele und Beratungssituationen beschrieben ist<sup>37</sup>, ist es durch Group Model Building auch methodisch verortet (vgl. Fokkinga et al. 2009). Für die vorliegende Studie stellt sich die Aufgabe, den individuellen Zugang zur Modellsituation für Lernende erschließbar zu machen und die Formulierung einer eigenen Leitfrage zur Modellierung zu fördern, wobei eine Beschäftigung mit Mehrperspektivität gewünscht ist. Zielsetzung ist, dass Beteiligte Systemmodellierung durch Übung erlernen:

---

<sup>36</sup> Der Prozess des Group Model Buildings stellt eine Möglichkeit dar, um unterschiedliche Akteurssichten abzubilden und zu integrieren (vgl. Fokkinga et al. 2009).

<sup>37</sup> Während einer Beratung dient sie dazu, das Verständnis des Klienten zu erfassen: „*Modeling works best as an iterative process of joint inquiry between client and consultant.*“ (Sterman 2000, S. 80). Der Modellierungsprozess mit dem Klienten, wird mit dem Empfehlung versehen, dass das iterative Lernen des Nutzers zu dokumentieren sei, um schrittweise Lernprozesse zu erkennen: „*Because modeling is iterative, learning is often gradual, and people find it hard to remember how they perceived the situation before the project began. To overcome hindsight bias you should carefully document the mental models of the client team prior to the modeling effort [...]*“ (Sterman 2000, S. 883).

*“[...] with practice, they can learn to identify the parts of a defined system, to analyze and understand the interdependencies among parts of a system, the conditions that create those interdependencies, and the effects of those over time and space” (Senge 2000, 239f., in Bertschy Kaderli 2007, 32f.)*

Die Systemstruktur kann „nach innen“ oder „nach außen“ entwickelt werden:

Wird eine eng umrahmten Problemstellung betrachtet, so können strukturelle Zusammenhänge beschrieben werden, die über Archetypen erklärbar sind (vgl. Kapitel 3.2.4). Steht die Analyse des Modells im Detail im Zentrum des Modellierungsprozesses, so wird von einer Betrachtung eines Systems nach innen gesprochen. Demgegenüber ergibt sich eine Betrachtungsrichtung nach außen (vgl. Ossimitz und Lapp 2006, S. 31), wenn die Integration von Perspektiven zugelassen wird. Die Berücksichtigung verschiedener Perspektiven oder Zielstellungen verändert die Struktur des zu modellierenden Systems. Durch die Suche nach indirekten Zusammenhängen, unerwarteten Folgen oder das Denken in langen Zeitspannen, aber auch durch Berücksichtigung weiterer Perspektiven, kann das Modell nach außen erweitert werden. So können Konsequenzen langfristigen Handelns berücksichtigt, bzw. frühzeitig nachhaltiges Handeln ermöglicht werden, statt Zielformulierung in Entscheidungssituationen auf kurz- oder mittelfristige Zeitskalen zu beschränken (vgl. Meadows und Wright 2009, S. 170ff.).

Die Änderung der Systemstruktur im Zeitverlauf wird auch als Wandel „zweiter Ordnung“ (Ossimitz und Lapp 2006, S. 85) bezeichnet. Ein solcher Wandel kann im Bereich des Energieversorgungssystems beobachtet werden (vgl. Kapitel 5.3.5).

Im Gegensatz zur Sicht „nach außen“, die in der vorliegenden Studie verfolgt wird, besteht in verschiedenen Ingenieurdisziplinen die Bestrebung, mit einer Betrachtungsrichtung nach innen eine konstante Systemstruktur zu beschreiben, die beispielsweise über eine Linearisierung erreicht werden kann und ein System in einem räumlich und zeitlich eng begrenzten Bereich beschreibt. Das Vorgehen der Modellierung in der Regelungstechnik wird in einem Lehrbuch wie folgt beschrieben<sup>38</sup>:

*„Im Folgenden wird stets von linearen Systemen ausgegangen, obwohl viele Regelstrecken nichtlineares Verhalten besitzen. [...] Dennoch können die meisten Regelungsaufgaben mit Hilfe linearer Modelle der Regelstrecke gelöst werden. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass sich diese Regelungen damit befassen, ein System in der Nähe eines vorgegebenen Arbeitspunktes zu halten, so dass nur Abweichungen um den Arbeitspunkt von Interesse sind. In der Nähe des Arbeitspunktes kann das Verhalten vieler Regelstrecken näherungsweise durch ein lineares Modell beschrieben werden.“ (Lunze 2013, S. 39).*

---

<sup>38</sup> Grund für die Linearisierung ist, dass viele mathematischen Analyseprinzipien nur auf lineare (Differential-)Gleichungen angewendet werden können und somit durch die Linearisierung ein erweiterter mathematischer Methodenkasten zur Verfügung steht, beispielsweise die Laplace-Transformation zur Lösung von Differentialgleichungen (vgl. Papula 2014, 339 ff.).

Die zeitliche und räumliche Einschränkung der Systembetrachtung kann für technische Systeme geeignet sein, wenn beispielsweise mit mathematischen oder physikalischen Zusammenhängen eine Fehlerabschätzung möglich ist (vgl. Kleinwinkelnäherung in Kapitel 2.1.3). Sie spiegelt andererseits auch die Tendenz ingenieurwissenschaftlicher Disziplinen als spezielle Technologien wider, sich in einem positivistischen Disziplinenverständnis auf das technische System zu beschränken und nicht-technische Konsequenzen oder Bedingungen für dieses System außerhalb des Betrachtungshorizonts zu lassen (vgl. Schmayl und Wilkening 1995, S. 12f., Ropohl 2009, S. 32).

Soll in der Lehre wiederum Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen eingesetzt werden, um ein Denken, Argumentieren und Handeln quer zu Disziplinen zu ermöglichen (vgl. Kapitel 2.1.2), und damit strukturell-methodische Werkzeuge bereitzustellen, um „Dialogfähigkeit und Orientierungswissen“ (BMBF 2021a) zu fördern und systemorientiertes Denken, etwa in Form eines öko-sozio-technologischen Systemwissens als Teil eines mehrperspektivisches Technikverständnisses (vgl. Ropohl 2009, Kapitel 5.3) zu unterstützen, so bieten sich Modellierungswerkzeuge an, die neben dynamischer Komplexität auch die Einflüsse nicht-technischer Systemkomponenten berücksichtigt (vgl. Meadows et al. 2019, S. 259). Dieses Prinzip wird im Verlauf dieser Arbeit für eine Intervention mit Studierenden weiterentwickelt. Er nähert sich konzeptionell den Werten eines transdisziplinären Systemverständnisses und verlässt damit klassische Lehrbuchsituationen der Systemmodellierung.<sup>39</sup>

### 5.1.3 Transdisziplinarität in der Hochschullehre

„Transdisziplinwissenschaften definieren ihre Probleme in Anbetracht lebensweltlicher Relevanz.“ (Ropohl 2005, S. 29) Sie benötigen generalistische sprachliche Darstellungsmittel, sowie Denkmodelle als „integrative Methoden der Wissensorganisation und Wissenssynthese“ (ebd., S. 30). Wird ein Denkmodell einer „Disziplinenwissenschaft“ als eindimensional angesehen, so bringt die transdisziplinäre Wissenssynthese „[m]ehrdimensionale multiperspektivische Verflechtungsmodelle“ (ebd.) hervor, die sich durch Flexibilität, Reflexion und modelltheoretische Vielfalt auszeichnen.

---

<sup>39</sup> Diese Lehrbuch-Situation wird wie folgt beschrieben: „SD [System Dynamics] beginners are confronted with complexity in the form of feedback loops: they are guided through sequences of models starting with single loops and finishing with five to eight relevant loops, which the textbook authors have labeled as such.“ (Schaffernicht und Groesser 2016, S. 58). Lehrbücher sind häufig bereits über den Titel einem perspektivischen Schwerpunkt zugeordnet, beispielsweise Business Dynamics (Sternan 2000), Modeling the environment (Ford 2010). Eine Ausnahme bildet bspw. das Lehrwerk von Pruyt (2013): In diesem Buch kann Systemmodellierung anhand selbst gewählter thematischer Pfade erarbeitet werden.

Anders als in Disziplinenwissenschaften wird in einem transdisziplinären Umfeld „die Tauglichkeit für die Praxis und Weltbildorientierung“ (ebd.) statt fachinterner Bewährung zum Qualitätskriterium (vgl. ebd., S. 29).

Vorschläge zur Verankerung einer Transdisziplinarität über Ansätze des Systemdenkens sind für Curricula der Hochschule vereinzelt vorhanden: So schlägt Pätzold (2019) vor, dem „Abgrenzen des fachlichen Lerngegenstands“ (Pätzold 2019, S. 365) in der deutschen Bildungslandschaft ein Systemdenken entgegenzusetzen, das auf Themen, nicht auf Fächer bezogen wird. Studierende sollen ein "[f]lexibles Überschreiten dieser Grenzen [...] lernen“ (Pätzold 2019, S. 365), damit ihre Handlungsfähigkeit in Realsituationen gefördert wird (ebd.).

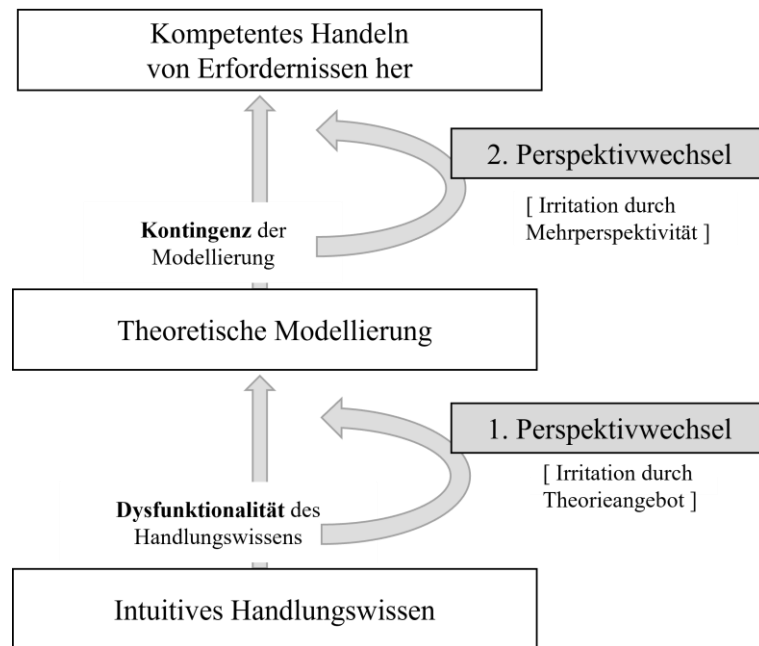
Pätzolds Vorschlag umfasst ebenfalls ein Verständnis von Modellierung, das prozessorientiert ist: „eine flexible Modellierung und damit auch Bearbeitung“ (ebd.) von Aufgaben, wobei Bearbeitungsprozess und auftretenden Herausforderungen nicht generell getrennt werden sollen. Die Beschäftigung mit Systemen soll in synthetisierender und analytischer Form erfolgen, und auch über Studiengänge und Fachdisziplinen hinweg gemeinsame Modelle entwickelt werden (vgl. ebd., S. 369f.).

#### *5.1.4 Kontingenz von Modellen*

Betrachtet man die Aufgabe der Systemmodellierung als Zugang zur Beschäftigung mit Problemstellungen der Realwelt, so wird die subjektive Aneignungsperspektive ermöglicht, wenn sich Lernende in einem konstruktivistischen Didaktikverständnis mit einem „Lerngegenstand der Lebenswelt“ (Mikula 2008, S. 68) beschäftigen. Als Teil des Lernprozesses durchlaufen die Lernenden eine Selbsttransformation (ebd., S.70), die über Perspektivwechsel dargestellt werden kann.<sup>40</sup> Reis und Szczyrba (2010) beschreiben für den Lernprozess an Hochschulen einen doppelten Perspektivwechsel: Kompetenzorientierung kann erreicht werden, indem „wissenschaftsorientierte Handlungsstrukturen als bedeutsam für relevante Handlungsfelder“ (ebd., S. 285) ausgewiesen werden (vgl. Abbildung 5-1). Der Perspektivwechsel wird dadurch ausgelöst, dass ein Theorieangebot das intuitive Handlungswissen irritiert. Erkennen die Lernenden das angebotene wissenschaftliche Wissen als persönlich bedeutsam, so distanzieren sie sich von bisherigen Alltagsmodellen und nutzen stattdessen das wissenschaftliche Modell.

---

<sup>40</sup> Perspektivwechsel beziehen sich in diesem Zusammenhang auf die Kompetenzentwicklung, nicht auf inhaltliche Aspekte.



**Abbildung 5-1: Kompetenzentwicklung unter doppeltem Perspektivwechsel (verändert nach Reis und Szczyrba 2010, S. 285).**

Es besteht auf dieser Stufe die Gefahr, dass die „rein technologische Modellierung“ (Reis und Szczyrba 2010, S. 286) des Alltagswissens zu einer rezeptiven Lernhaltung führt, in welcher Lernende weder über Geltungsbedingungen noch über Notwendigkeiten der Modellanpassungen nachdenken.

Damit Studierende lernen „die Modellierung selbst als kontingent zu entlarven“ (ebd., S. 285) werden die Modelle in Handlungssituationen eingesetzt, die „in ihrer Komplexität der Lebenswelt ähnlich“ sind (ebd.). Erst in dieser Situation erkennen Lernende, dass das theoretische Modell nur bedingt geeignet ist und merken, dass mit dem ersten Perspektivwechsel auf Ebene des Theoriewissens allein kein ausreichendes „Wissen über Modelle“ (ebd.) erreicht wird.

Bei der Bewältigung der Situation, unter Rückgriff auf eigene Erfahrungen, Prägungen etc., erleben Lernende das Modell als eine von verschiedenen Perspektiven. Die Kontingenz von Modellen wird den Lernenden bewusst, indem sie eine „persönliche Ausformung“ (ebd.) des Modells entwickeln. So entsteht ein kompetentes, an die Erfordernisse angepasstes Handeln. Der zweite Perspektivwechsel in eine Meta-Perspektive kann das Erreichen der Kompetenzstufe der Professionalität fördern.

Übertragen auf die Modellierungssituation in der vorliegenden Studie kann der erste Perspektivwechsel in einem methodischen Zugang zur Systemmodellierung gesehen werden, während der zweite Perspektivwechsel die Beschäftigung mit Perspektiven des betrachteten Systems und der daraus resultierenden Kontingenz von Systemmodellen darstellen kann.

## 5.2 Mehrperspektivischer Technikunterricht

Der folgende Abschnitt stellt verschiedene Ausprägungen des Begriffs „Technik“ vor und stellt die Bedeutung mehrperspektivischer technischer Bildung dar.

### 5.2.1 Technik, Technologie und Ingenieurwissenschaften

Ropohl unterscheidet drei Formen des Technikbegriffs: Im weitesten Sinne umfasst Technik „jede Art von kunstfertiger Verfahrensroutine in beliebigen menschlichen Handlungsfeldern“ (Ropohl 1999, S. 29).<sup>41</sup> In diesem Verständnis beinhaltet „technisches Wissen“ die Kenntnis zweckrationaler Verfahrensprozeduren (vgl. Ropohl 1999, S. 207). Ein mittlerer Technikbegriff schließt das Handeln des Menschen ein: Unter Technik werden „Gegenstände und menschliches Handeln, aber nur solches Handeln, das mit Artefakten zu tun hat“ (Gottl-Ottilienfeld 1923, S. 7ff. in Ropohl 1999, S. 30), zusammengefasst. Demgegenüber steht ein vor allem „in den Technikwissenschaften und in der öffentlichen Diskussion“ (Ropohl 2009, S. 30) vorherrschender enger Technikbegriff, welcher nur die gegenständliche Welt „der Maschinen und Apparate meint“ (ebd.) und Artefakt als „das künstlich gemachte Gebilde“ (ebd.) in den Vordergrund stellt.

Der mittlere Technikbegriff und technisches Handeln bilden den Ausgangspunkt von Ropohls allgemeiner Technologie (vgl. Kapitel 5.3).<sup>42</sup>

Ropohl definiert Technologie „als die Wissenschaft von der Technik“ (Ropohl 2009, S. 31) und als metasprachlichen Ausdruck, um „wissenschaftlich systematische [...] Aussagen über jenen Wirklichkeitsbereich“ (ebd.) zu beschreiben. Anders als neuere Definitionsversuche ist mit Technologie somit nicht der gesellschaftliche oder wissenschaftliche Charakter moderner Technik gemeint (vgl. ebd., S. 31f.).

Technikwissenschaften an der Hochschule können als spezielle Technologien angesehen werden (vgl. ebd.). In den Ingenieurwissenschaften wird oft auf einen engen Technikbegriff Bezug genommen. Auch die „Eigenständigkeit der Technik“ (ebd., S. 40) wurde postuliert. Dem stellt Ropohl die in Kapitel 5.3 beschriebene „Allgemeine Technologie“ gegenüber.

---

<sup>41</sup> Dieser Begriff ist als „Technik eines Handelns“ nach Weber in den Sozialwissenschaften geläufig (Ropohl 2009, S. 29).

<sup>42</sup> In dieser Arbeit ist die Allgemeine Technologie von Ropohl in ihrer 1. Auflage (Ropohl 1999) zitiert. Teilweise wird auch die 2. Auflage referenziert (Ropohl 2009), insbesondere dort, wo Ropohl sich aktiv mit einer Anpassung von Begriffsklärungen auseinandersetzt.

### 5.2.2 Technische Bildung

Während das Entwicklungsniveau der Technik den Lebensstandard des 20. und 21. Jahrhunderts prägt und dazu beiträgt, Menschen von Leiden und Nöten zu befreien, werden auch die Herausforderungen erkennbar, Technik zu bewältigen (vgl. Ropohl 1999, S. 16ff.). Vom Umgang mit Rest- und Abfallstoffen über gesundheitliche Schäden und die Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen als Koppelprodukte<sup>43</sup>, ergab sich seit den 1960er Jahren die Erkenntnis, dass dem Wachstum der technisch-industriellen Entwicklung Grenzen zu setzen seien (vgl. Ropohl 1999, S. 16, Meadows et al. 1972, DIFF 1979, S. 56). Gleichzeitig beruhen auf der Weiterentwicklung der Technik zentrale Hoffnungen zur Bewältigung bzw. Eingrenzung globaler systemischer Herausforderungen im Zeitalter des Anthropozäns, wie der Begrenzung der Klimaerwärmung (vgl. Weizsäcker und Wijkman 2017, S. 49ff.).

Die Entwicklung technischer Bildung unter Berücksichtigung von Mehrperspektivität scheint daher notwendig, wird jedoch weiterhin als ausbaufähig beschrieben:

*„Nirgendwo [ist][...] die Diskrepanz zwischen der materiellen und der sozial-ideellen Kultur augenscheinlicher als in der bisherigen Abstinenz des Bildungssystems gegenüber den Phänomenen und Problemen der Technik.“ (Ropohl 2009, S. 18).*

Bereits Ende der 1970er Jahre wurde technische Bildung als Mittel der Emanzipation gesehen, um Abhängigkeitsverhältnissen vorzubeugen, die sich bei mangelnder technischer Qualifikation angesichts der Verflechtung von sozialen, technischen und ökonomischen Einflüssen ergaben. Andererseits kann technische Bildung auch als Grundlage zur Weiterentwicklung der Technik selbst gesehen werden, etwa um Lösungsalternativen zu entwickeln, die gemäß aktuell geltender Kriterien angemessen sind. „[I]m Sinne der Humanisierung, ökologischen Angemessenheit und langfristigen Verantwortung“ (DIFF 1979, S. 58) ist technische Bildung auf gesellschaftlicher und individueller Ebene zu fördern (ebd., S. 56ff.).

Weiterhin kann durch technische Bildung ein allgemeines technisches Verständnis entwickelt werden, das auch eine Meinungsbildung fördert und es ermöglicht den generelle[n] Human- und Wertungsbezug technischer Entscheidungen“ (ebd., S. 56) zu kommunizieren. Auch für Technikstudierende und Ingenieur\*innen kann eine Besinnung auf das Wesen der Technik und ihren Bedingungen und Konsequenzen als Bildungsziel formuliert werden: <sup>44</sup> „Man macht sich kaum Gedanken, was Technik

---

<sup>43</sup> Koppelprodukte sind ein Anwendungsbeispiel für den Systemarchetyp der unerwarteten Nebenwirkung (vgl. Kapitel 3.2.4).

<sup>44</sup> Ropohl plädiert insbesondere auf die Aufhebung von klar getrennten Ingenieurdisziplinen: „Ingenieurwissenschaftler, die sich gegen die Erweiterung ihres Problemhorizontes mit wissenschaftssystematischen Argumenten wehren, müssen sich sagen lassen, dass ihr Arbeitsgebiet ohnehin aus mehreren Disziplinen sich speist und darum für disziplinären Purismus ungeeignet ist.“ (Ropohl 2009, S. 46).

eigentlich ist, worauf sie beruht, wie sie zusammenhängt, welche Folgen sie hat, welches ihr Sinn ist.“ (Schmayl und Wilkening 1995, S. 12).

Technische Bildung ist auch im Kontext der aktuellen Arbeitswelt relevant: Die Gestaltung humaner Arbeitsbedingungen bzw. der Erhalt von Arbeitsplätzen sind seit langem als Herausforderungen der „soziotechnischen Praxis“ (Ropohl 1999, S. 17) erkannt. Die aktuelle Arbeitswelt unterliegt einem organisatorischen, technischen und ökologischen Wandel (vgl. BMBF 1998 S.3, in Windelband 2021, BMBF 2021b, S. 16). Die Digitalisierung schafft „gemeinsame Schnittstellen zwischen Berufen“ (Windelband 2021, S. 216) und führt zu einer Verschränkung von Arbeits- und Geschäftsprozessen, bei der auch das Individuum sich mit anderen Domänen vernetzen muss (vgl. ebd., S. 211). Ein Zugang zu diesem vernetzten System soll Lehrkräften und Ausbilder\*innen in der beruflichen Ausbildung ermöglicht werden, um ein Verständnis für Veränderungen in der Arbeitswelt zu vermitteln (vgl. ebd., S. 210).

Dieser Zugang könnte im Umfeld der tertiären Bildung über ein öko-sozio-technologische Systemwissen den „aufgeklärten Umgang mit der Technik“ (Ropohl 1999, S. 215) gefördert werden. Ausgangspunkt hierfür könnte ein transdisziplinäres Verständnis sein, das Technik in ihren Wechselwirkungen zwischen verschiedene Disziplinen vernetzt und einen Handlungsbezug herstellt. Pfenning (2016) schlägt vor, „Technikdidaktik von ihrer fachlichen methodischen Begrenztheit hin zur eigenen Wissenschaftsdisziplin mit Assoziationen zur Wissenschaftskommunikation und Technikfolgenabschätzung“ (Pfenning 2016, S. 87) zu entwickeln. Eine Sozio-MINT-Didaktik kann als praktisches Pendant zu einer Soziotechnik (vgl. Kapitel 5.3) gesehen werden. Hier können statt einzelner Technologien, etwa am Beispiel des Energiesystems, generelle Konzepte wie Ressourcenkreisläufe und Basisprobleme bei fluktuierender Stromerzeugung vermittelt werden (vgl. Pfenning 2016, S. 92f.). Eine Sozio-MINT-Didaktik könnte für verschiedene Zielgruppen zugänglich gemacht und auch an außerschulischen Lernorten dazu beitragen, Bezüge zwischen MINT und Gesellschaft zu vermitteln (ebd.).

Auf technikphilosophischer Ebene stellt Ropohl die Relation zwischen Technik und Menschen in seinem Globalmodell der Allgemeinen Technologie dar (vgl. Ropohl 1999, S. 19).



### 5.3 Allgemeine Technologie nach Ropohl

Die Allgemeine Technologie bildet als beschreibendes Systemmodell (vgl. Ropohl 1999, S. 31) ein „Gesamtbild der Technik“ (ebd., S. 27) ab.

Durch eine systembasierte Beschreibung wird der Bezug auf fachliche Disziplinarität überwunden, so dass auf theoretischer Ebene die Mehrperspektivität im Umfeld der „Technik“ kontextualisiert wird (vgl. ebd., S. 27ff.).

#### 5.3.1 System- und Modellverständnis bei Ropohl

Die Unterscheidung dreier Systemkonzepte (funktional, struktural und hierarchisch, vgl. Kapitel 2.1.6) sieht Ropohl als Möglichkeit, die Emergenz komplexer Systeme zu erklären: „Diese drei Systemkonzepte schliessen einander keineswegs aus, sondern können leicht miteinander verbunden werden.“ (ebd., S. 77). Das „holistische [...] Gesetz [...], dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile“ (ebd., S. 75) wird entschlüsselt, indem Beziehungsgeflechte, funktionale Input-Output-Betrachtungen und Hierarchien als erklärende Elemente eingeführt werden.

Für Modelle beschreibt Ropohl Individuenbezug und Perspektivität (vgl. Kapitel 2.2.1) und sieht den Beobachter als Teil des Systems:

*„Modelle [werden] immer von einem Beobachter gebildet [...], der damit bestimmten Intentionen verfolgt. Das Modell deckt ein Stück Realität ab, aber eben nur einen Ausschnitt und es bezieht den Beobachter und sein Verhältnis zur Wirklichkeit ein, der insofern seine eigene Modellkonstruktion mitreflektiert“ (Ropohl 1999, S. 85).*

Auch für Systemmodelle gilt die begrenzte Gültigkeit:

*„So verhält es sich auch mit den Systemmodellen: Was sie beschreiben, gibt es in der Wirklichkeit, aber sie erfassen nicht die ganze Wirklichkeit, sondern nur jene ganz bestimmten Aspekte, die für den Hersteller und den Benutzer des Modells wichtig sind.“ (Ropohl 1999, S. 84).*

Zentral für Ropohls „Allgemeine Technologie“ als Systemtheorie ist der mittlere Technikbegriff, der technische und gesellschaftliche Aspekte vereint: Im mittleren Technikbegriff ist das technische Artefakt mit seinen Handlungszusammenhängen verflochten und somit in einem sozio-technischen System verzahnt. Technik umfasst in diesem Verständnis

*„[...] (a) die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme), (b) die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und (c) die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.“ (Ropohl 2009, S. 31).*

Technisches Handeln wiederum umfasst Herstellung und Gebrauch von Artefakten bzw. Sachsystemen (ebd., S. 30). Technische Probleme können im „Beziehungsgeflecht zwischen Entstehungs-, Sach- und Verwendungszusammenhang“ (Ropohl 1999, S. 43) eingeordnet werden (vgl. Abbildung 5-2).

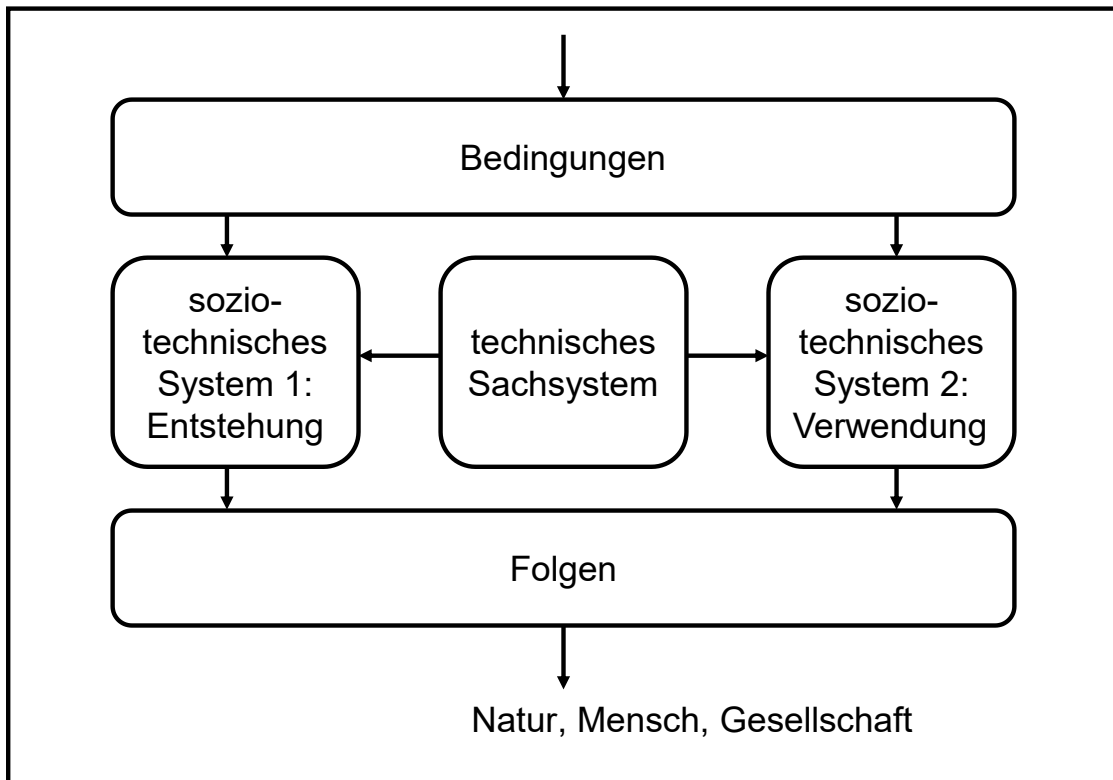


Abbildung 5-2: Schema technologischer Problem (verändert nach Ropohl 1999, S. 44).

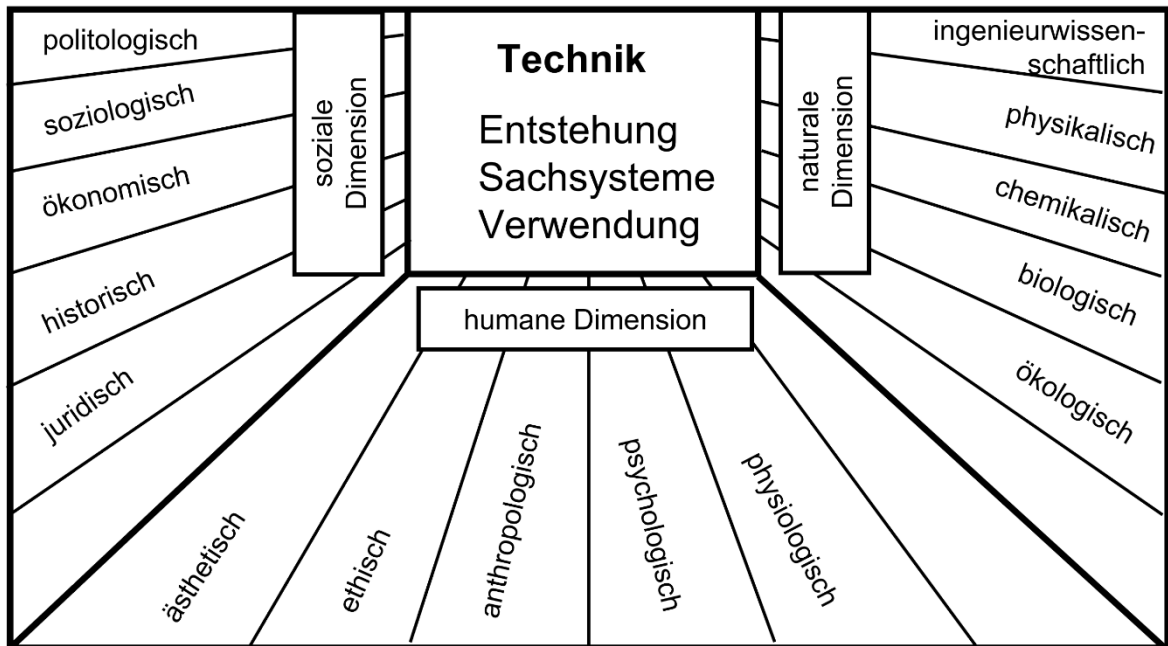
### 5.3.2 Mehrperspektivität der Technik bei Ropohl

Ropohl versteht Technik somit nicht als „eine vom Menschen abgelöste Eigenwelt“ (Ropohl 1999, S. 30). Vielmehr setzt er einen mehrperspektivischen Bezugsrahmen, der anders als „die verschiedenen Technikwissenschaften“ oder „speziellen Technologien“ (ebd., S. 32) die naturale, humane und soziale Dimension der Technik berücksichtigt, die in ihren Ausprägungen in Abbildung 5-3 dargestellt sind.

Die zugrundeliegenden Erkenntnisperspektiven, die über ingenieur- bzw. naturwissenschaftliche Erkenntnisprinzipien hinausgehen, (vgl. ebd., S. 26f.) sind im Folgenden kurz beschrieben:

Die naturale Dimension beinhaltet naturwissenschaftliche, ingenieurwissenschaftliche und ökologische Erkenntnisprinzipien: Technische Artefakte unterliegen den Naturgesetzen. Ihre „Wirkungsbedingungen und -abläufe“ (Ropohl 1999, S. 33) werden über naturwissenschaftliche Ansätze erklärt.<sup>45</sup>

<sup>45</sup> Während die Naturwissenschaften kausale Erklärungen liefern und das Zustandekommen der Wirkung technischer Artefakte erklären können (vgl. Ropohl 1999, S. 33), wird technologisches Wissen als „anwendungsorientierte [...] Transformation naturwissenschaftlicher Wissenselemente in Verbindung mit erfahrungseleiteten praktischen Regeln“ (ebd., S. 35) beschrieben. Naturwissenschaften identifizieren Funktionspotentiale, die „unter Laborbedingungen experimentell realisier[t werden können]“ (ebd., S. 282f.). Demgegenüber liegt der Schwerpunkt der Ingenieurwissenschaften in der Lösungssuche zu angewandten Problemstellungen, beispielsweise indem „verschiedenartige Naturgesetzmäßigkeiten theoretisch miteinander zu verbinden, weil sie in



**Abbildung 5-3: Dimensionen und Erkenntnisperspektiven der Technik (verändert nach Ropohl 1999, S. 31).**

Im ingenieurwissenschaftlichen Ansatz werden Lösungen zu angewandten Problemstellungen gesucht, z.B. um durch Verbindung von Naturgesetzen die real zusammenwirkenden Elemente im technischen Gebilde zu beschreiben (vgl. ebd., S. 34f.).

Die naturale Dimension umfasst weiterhin den Einfluss technischer Systeme auf die Ökologie, vom Energieverbrauch bis zu unerwünschten Rückständen (Ropohl 1999, S. 34). Hier ist neben der Bekämpfung von Folgen auch die Vermeidung von Ursachen eine Möglichkeit, um Koppelprodukte zu erkennen und zu vermeiden (vgl. Abbildung 5-2).

Die humane Dimension beschreibt Technik anthropologisch „als Ergebnis wie als Mittel der Arbeit“ (ebd., S. 35). Der Mensch als „Mängelwesen“ (Gehlen 1981, zitiert nach Ropohl 1999, S. 36) benötigt technische Artefakte zum Überleben. Weiterhin kann Technik auch aus einer ästhetischen Perspektive betrachtet werden (vgl. Ortega y Gasset 1949, zitiert nach Ropohl 1999, S. 36).

Die humanwissenschaftliche Perspektive der Technik umfasst zum Beispiel die Arbeitsmotivation im Kontext der Arbeitsteilung, die Kreativität von Ingenieur\*innen (vgl. Ropohl 1999, S. 37), oder das subjektive Erleben von Arbeitssituationen in

---

einem technischen Gebilde auch real zusammenwirken“ (ebd., S. 34). Die Lösungssuche im Ingenieurwesen wird als Mischung aus „Wissenschaft und Kunstlehre“ (ebd., S. 35) bezeichnet. Die Gestaltungsziele der ingenieurwissenschaftlichen Perspektive umfassen das Vorhersehen von Verhalten bei geplanten Sachsystemen, die Vorausbestimmung des Aufbaus, um gewünschte Effekte zu erreichen, sowie die „empirische und theoretische Analyse bereits ausgefüllter technischer Gebilde“ (ebd., S. 34).

hochtechnisiertem Umfeld. Auch die ethische Perspektive, die sich mit der Beherrschbarkeit der Technik beschäftigt und Menschen davon abhält „alles [zu] machen, was sie technisch machen könnten“ (ebd., S. 38) zählt zur humanen Dimension.

Gemäß der dritten, sozialen Dimension ist „die Technik auch ein soziales Phänomen“ (ebd., S. 39): Sie ist eng verzahnt mit der Ökonomie und der Befriedigung menschlicher Bedürfnisse in Anbetracht begrenzter Ressourcen. Die Bedürfnisse als gesellschaftliche Konstrukte werden durch das soziokulturelle Umfeld bestimmt und unter anderem durch technische Innovationen gefördert. Zudem werden sie durch die gesellschaftliche Entwicklung von Werten beeinflusst (vgl. ebd., S. 40f.). Weiterhin untersucht die soziologische Perspektive Hierarchien, die aus der Arbeitsteilung resultieren. Technik ist zudem auch ein politisches Instrument, da sie zu Wachstum und Wohlstand beiträgt; sie kann auch im geschichtlichen Kontext betrachtet werden, da ihre „[...] Bedingungen und Folgen ihrerseits geschichtlichem Wandel unterliegen“ (ebd., S. 43).

### 5.3.3 Systemmodell der Technik

Das Systemmodell der Technik beruht auf der soziotechnischen Einbindung eines Sachsystems bzw. Artefakts.<sup>46</sup> Die Darstellung des Systemmodells beginnt ausgehend von einem Sachsystem, das in eine Umwelt eingebunden ist und sich funktional als Blockschema darstellen lässt (vgl. Abbildung 5-4, weiße Blöcke).

Ein menschliches Handlungssystem ist „Subjekt des Handelns“ (Ropohl 1999, S. 94). Verfolgt es interne Ziele, um zielbestimmt und planmäßig eine Veränderung der Situation zu bewirken, so entsteht ein Handlungssystem (ebd., S. 94 ff., graue Markierung in Abbildung 5-4).<sup>47</sup>

Da eine Situation über das Handlungssystem und seine Umgebung definiert ist (Ropohl 1999, S. 94), verändert „[i]m Handeln [...] das Handlungssystem, indem es seine Umgebung umgestaltet, in aller Regel gleichzeitig auch sich selbst.“ (Ropohl 1999, S. 100).

---

<sup>46</sup> Ropohl greift hierbei neben Ludwig von Bertalanffys Allgemeiner Systemtheorie (vgl. 2.1.2) mit ihrem „interdisziplinären Integrationspotential“ (Ropohl 2009, S. 71) Elemente der Kybernetik auf, die sich dadurch auszeichnet, dass sie Information getrennt von Energie und Materie betrachtet: „Information ist Information, weder Masse noch Energie“ (Wiener 1968, übersetzt durch Ropohl in Ropohl 2009, S. 82). In der 2. Auflage der Allgemeinen Technologie ersetzt Ropohl den Begriff des „kybernetisch-systemtheoretischen Ansatz“ durch den aus seiner Sicht weiterreichende Konzept der „Systemtheorie“ (Ropohl 2009, S. 75). Diese Bezeichnung wird auch in der vorliegenden Arbeit verwendet.

<sup>47</sup> Hierdurch ist das Subjekt in den Situationsbegriff einbezogen, sodass Handeln sowohl eine Umgebungsänderung als auch eine Änderung des Subjekts bewirken kann. Das handelnde Subjekt kann auf Ebene von Individuum, Organisation oder Gesellschaft verortet sein (vgl. Ropohl 1999, S. 94 ff.).

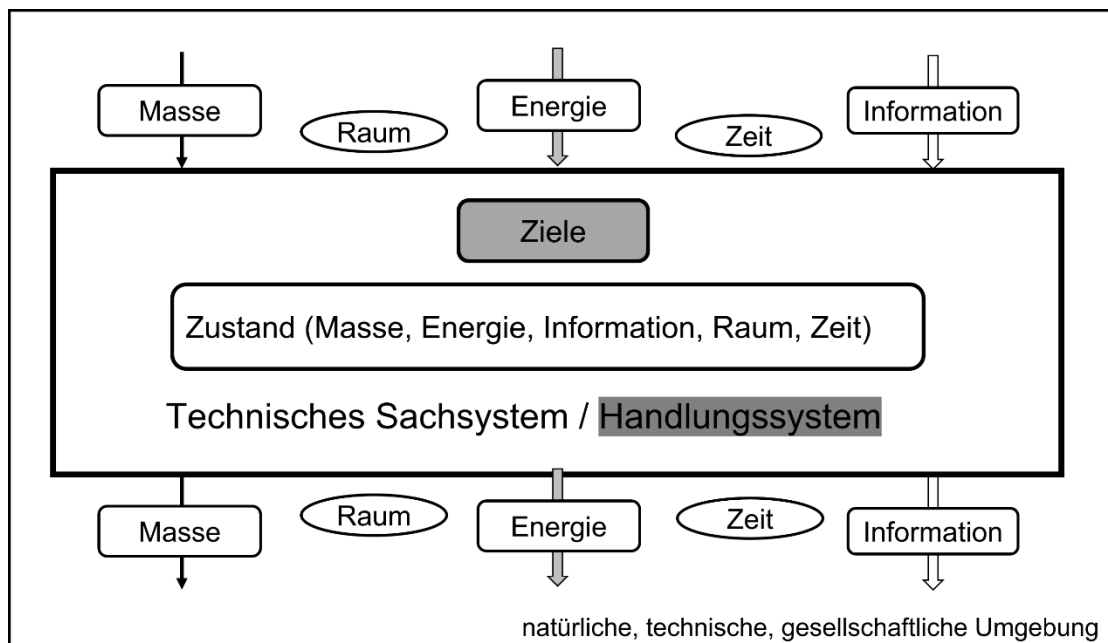


Abbildung 5-4: Blockschema des technischen Sachsystems bzw. Handlungssystems (eigene Darstellung, verändert nach Ropohl 1999, S. 120).

Eine Sachverwendung findet statt, wenn eine Sachfunktion mit einer Handlungsfunktion übereinstimmt. Es entsteht ein soziotechnisches System, das „menschliche und sachtechnische Teilsysteme zu einer integralen Handlungseinheit [verbindet]“ (Ropohl 1999, S. 145). Die Ablaufstruktur der Sachverwendung ist in Abbildung 5-5 schematisch dargestellt.

Hierbei beschreibt die soziotechnische Identifikation den Prozess, bei dem das menschliche Handlungssystem ein Sachsystem identifiziert, welches von ihm geplante

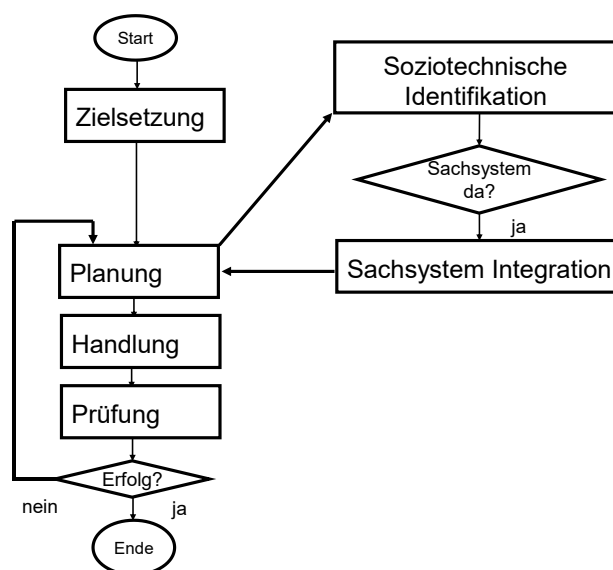
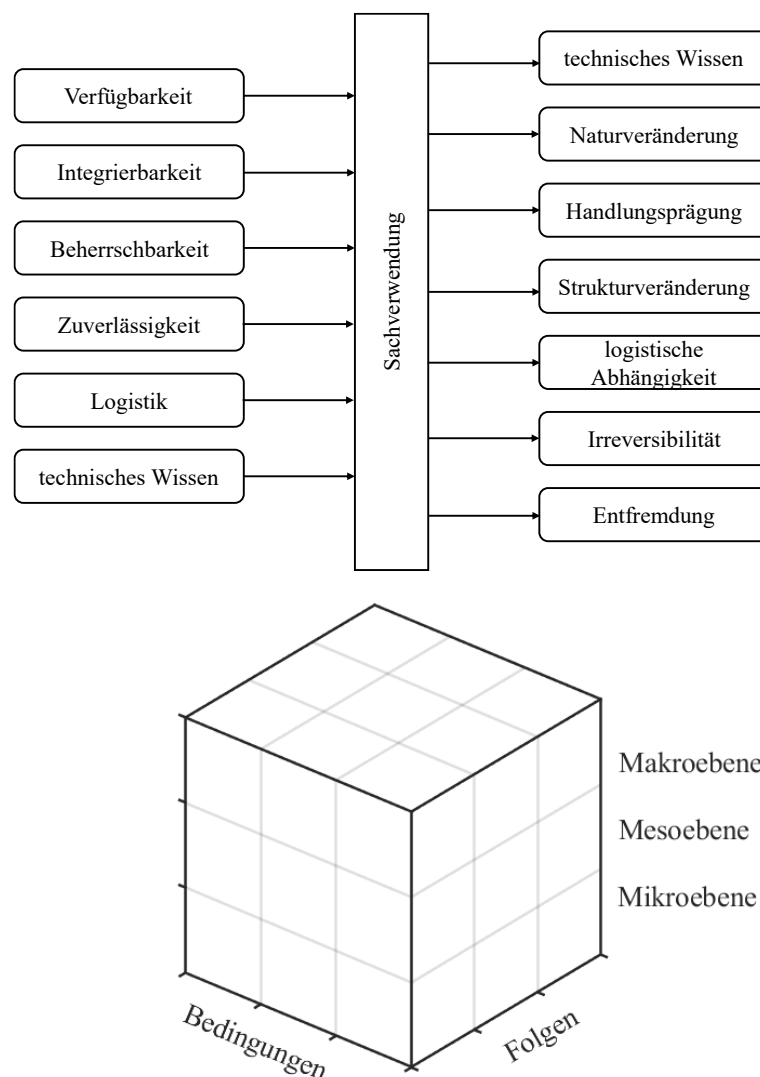


Abbildung 5-5: Ablaufstruktur der Sachverwendung (verändert nach Ropohl 1999, S. 169).

Handlungsfunktionen übernehmen kann. Dabei wirken Handlungssystem und Sachsystem zur Erfüllung der Handlungsfunktion zusammen (Ropohl 1999, S. 168).

Die Verwendung von Sachsystemen ist an Bedingungen geknüpft (vgl. Abbildung 5-6 oben). Gleichzeitig hat die Verwendung von Sachsystemen Folgen: Neben dem Entwickeln technischen Wissens sind Naturveränderungen und Handlungsprägungen zu nennen. Letztere entstehen, da Handlungssysteme ihre Pläne an verfügbaren Sachsystemen ausrichten können. Weiterhin sind Strukturveränderungen möglich, beispielsweise wenn ein Sachsystem mit der Zeit multifunktional genutzt wird (vgl. Ropohl 2009, S. 221ff.). Sachsysteme können Handlungen und Ziele beeinflussen, da sie in soziotechnische Institutionalisierungsprozesse eingebunden sind (vgl. ebd. S. 248). Ein Beispiel hierfür ist die Markteinführung neuer Technologien.<sup>48</sup>



**Abbildung 5-6: „Bedingungen und Folgen der Sachverwendung“ (oben), sowie ihre hierarchische Verflechtung (unten) (verändert nach Ropohl 2009, S. 241 und 243).**

<sup>48</sup> Die Markteinführung neuer Produkte, dargestellt über das Bass Diffusion Model, gehört zu den Standardmodellen in der System Dynamics Modellierung (vgl. Bass 1969, Sterman 2000, 323ff.)

Bedingungen und Folgen der Sachverwendung bewegen sich zwischen Individual- oder Mikroebene, Mesoebene, sowie Gesellschafts- oder Makroebene. Dies kann in einem mehrdimensionalen Modell abgebildet werden (vgl. Abbildung 5-6 unten). Beispielsweise ist der Aufbau von Infrastruktur zur Energieversorgung eine kollektive Aufgabe. Die Existenz der Infrastruktur wiederum ist Voraussetzung für die Verfügbarkeit alternativer Energieformen für den Einzelnen. Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen ergibt sich erst durch individuelle Nutzung des Sachsystems des Einzelnen (Ropohl 1999, S. 245).

### 5.3.3.1 Technisches Wissen

Technisches Wissen sieht Ropohl sowohl als Voraussetzung als auch als Konsequenz der Sachverwendung.

„Technisches Wissen soll hier stets eine kognitive Repräsentation bezeichnen, in der Sachsysteme eine wesentliche Rolle spielen.“ (Ropohl 1999, S. 208). Es ist somit Bedingung für Sachverwendung: Durch technisches Wissen kann eine Handlungsfunktion mit einer Sachfunktion identifiziert werden, um eine soziotechnische Integration zu ermöglichen (vgl. ebd., S. 207ff.).

**Tabelle 5-1: Übersicht über Formen technischen Wissens und ihre Relevanz u.a. im Kontext von Erfindungen (verändert nach Ropohl 1999, S. 207–215 und Ropohl 1999, S. 279ff.).**

Form des technischen Wissens	Beschreibung	Art des Wissens	Einsatzbereich / Relevanz
<b>technisches Können</b>	pragmatische Bedienungskompetenz	implizit, unstrukturiert	materielle Produktion (tendenziell ersetzbar)
<b>funktionales Regelwissen</b>	Wissen über Systemverhalten (als Black Box)	implizit	Übertragungserfindung Verwenden von Sachsystemen
<b>struktureles Regelwissen</b>	Wissen über inneren Aufbau und funktionale Beschaffenheit, nicht immer theoretisch begründet	implizit	echte Funktionserfindung
<b>technologisches Gesetzeswissen</b>	wissenschaftliche Standards, empirisch geprüfte Gesetze, Theoret. Systematisierung, Nähe zu Naturwissenschaften	explizit	komplexe Wartungsarbeiten (z.B. in Multifunktionssystemen)
<b>öko-sozio-technologisches Systemwissen</b>	disziplinenübergreifende Metaebene	Metaebene	aufgeklärter Umgang mit Technik Vermeidung von Nebenfolgen

Es werden die in Tabelle 5-1 zusammengefassten fünf Formen technischen Wissens unterschieden.

Technisches Können kann als „Bedienungskompetenz“ (Ropohl 1999, S. 208) und durch Übung bzw. Erfahrung gewonnene „habitualisierte Verhaltensroutine“ (ebd., S. 211) verstanden werden. Zugehörige sensomotorische Fähigkeiten werden durch Übung gewonnen. Da hier kein explizites Wissen benötigt wird und es von automatisierten Sachsystemen übernommen werden kann, beschreibt Ropohl technisches Können als „tendenziell entbehrlich“ (ebd., S. 212).

Funktionales Regelwissen beschreibt das Funktionswissen über Sachsysteme (vgl. ebd., S. 208). Es ist für die Sachverwendung notwendig und meist hinreichend: Das Sachsystem wird als „schwarzer Kasten“ bedient, wobei das Bedienungsverhalten aus Erfahrung oder eigener Beobachtung bekannt sein oder durch andere Personen bzw. Bedienungsanweisungen übermittelt sein kann (vgl. ebd., S. 212f.).

Das strukturelle Regelwissen bezieht sich „auf den inneren Aufbau und die konstruktive Beschaffenheit eines Sachsystems“ (ebd., S. 210): Hierzu zählen Wissen über Zusammensetzung, Verknüpfungen und strukturelle Merkmale des Sachsystems, sowie Erfahrung über Struktur- und Funktionszusammenhänge. Dieses Wissen ist erfahrungsgeprägt und wird häufig von anderen Personen übernommen. Es ist wie technisches Können und funktionales Regelwissen oft nur implizit verfügbar.

Technologisches Gesetzeswissen wiederum entspricht wissenschaftlichen Standards und ist durch empirisch geprüfte Gesetze und theoretische Systematisierung gekennzeichnet. Es wird unter anderem bei Wartungs- bzw. Reparaturarbeiten eingesetzt (vgl. Ropohl 1999, S. 212f.). Als letzte Wissensform nennt Ropohl das „öko-sozio-technologische Systemwissen“ (ebd., S. 214), das „auf der Metaebene der wissenschaftlichen Modellkonstruktion entfalte[t]“ (ebd., S. 215) wird. Systemwissen kann als „notwendige Voraussetzung für den aufgeklärten Umgang mit der Technik“ (ebd., S. 214) gesehen werden.

Die Allgemeine Technologie bildet eine theoretische Basis für die mehrperspektivische Betrachtung technischer Systeme und zeigt auf, dass Technik zusammen mit ihren gesellschaftlichen bzw. sozialen Wurzeln und Implikationen betrachtet werden sollte.



### 5.3.4 Zielpluralität in der deutschen Energiepolitik

Mit dem energiepolitischen Zieldreieck (vgl. Abbildung 5-7) wird die Vernetzung von Akteursinteressen und Perspektiven in der Energieversorgung aus einer Metaebene beschrieben. Das Dreieck ermöglicht es insbesondere, Ziel- und Interessenskonflikte aufzuzeigen, die an den Ecken des Dreiecks zwischen den drei Perspektiven auftreten (vgl. Pittel 2012, S. 22ff.).

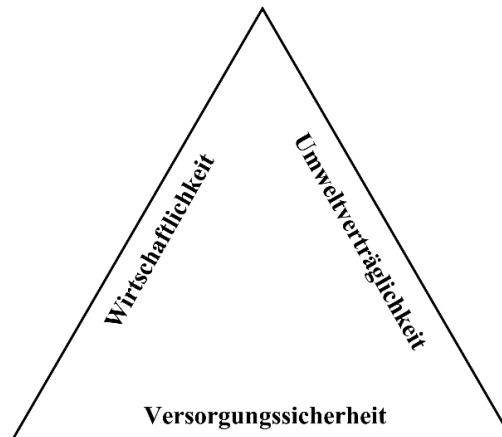


Abbildung 5-7: Energiepolitisches Zieldreieck (in Anlehnung an Pittel 2012).

### 5.3.5 Die Energiewende in Deutschland

Die deutsche Energiewende stellt die Transformation eines großen sozio-technischen Systems dar, welches fundamentalen Einfluss auf Akteure und Infrastrukturen besitzt (vgl. Wassermann et al. 2015, S. 66). Sie ist mit all ihren Entwicklungsoptionen als „Ergebnis sehr komplexer Zusammenhänge“ (vgl. Kufeld 2013, S. 153) zu beschreiben. Pfenning spricht von einer Gesellschaftstechnologie:

*„Die [...] Gesellschaftstechnologie ist seit 2011 der unter dem Begriff Energiewende firmierende Ausbau erneuerbarer Technologien“ (Pfenning 2016, S. 91).*

Diese Vernetztheit von Perspektiven bietet jedoch die Chance „auch das gesellschaftliche Technikverständnis zu verändern“ (Pfenning 2013, S. 125). Die Energiewende wird daher in der vorliegenden Arbeit als Trägerthema für eine mehrperspektivische Systembetrachtung aufgegriffen.

Gleichzeitig stellt die Energiewende auch ein System mit inhärenter Systemdynamik dar, die auf verschiedenen Zeitskalen stattfindet: Während die Versorgungssicherheit auf technischer Ebene zu jeder Zeit die Bereitstellung von Leistung fordert, erfolgt der Handel auf dem Strommarkt auf der Ebene von Monaten und Jahren, kurzfristig im Intervall von Tagen oder Wochen. Ausgleichsenergie wiederum wird sehr kurzfristig im Viertelstundentakt gehandelt (vgl. Konstantin 2013, S. 49ff., Haas und Loew 2012, S. 5). Auf struktureller Ebene führen lange Zeitverzögerungen durch Planungs-, Entscheidungs-, Genehmigungs- und Logistikprozesse zu einem relativ langsamen Veränderung des Anlagenbestandes (vgl. Wassermann et al. 2015, S. 68, Weizsäcker

und Wijkman 2017, S, 49ff.). Die Wirkung eines veränderten Energiemixes auf die Umwelt sind wiederum auf einer Zeitskala von Jahren bis Jahrzehnten einzuordnen.

Tatsächlich ist das soziotechnische System der Energieversorgung spätestens mit der Energiewende auf Systemebene in einen eher abrupten strukturellen Wandel übergegangen, der von den Akteuren auch in der strategischen Planung nicht vorhergesehen worden war:

*„One main pillar of Germany's energy transition project is the transformation of its electricity system. Transforming a [...] 'socio-technical system' (Geels 2004) implies fundamental effects on actors and infrastructures. When the German energy concept was proclaimed in 2010 and even stronger after the ultimate nuclear phase-out in 2011 (BMU 2011, in Wassermann et al. 2015) incumbent actors in the field of electricity generation were shocked (Becker 2011, in Wassermann et al. 2015), because until then they had mainly ignored the field of national renewables in their business concepts and had focused on mainly conventional power generation and supply in Germany.“ (Wassermann et al. 2015, S. 66).*

Damit entwickelt sich das System Energiewende in Anbetracht fundamental veränderter Randbedingungen weiter (vgl. Kapitel 2.1.5). Hierbei können Anpassung und Wandel nicht allein auf technischer Ebene betrachtet werden. Vielmehr werden die Wechselwirkung für verschiedene Akteure des Systems, wie Energieversorger, die ihre Unternehmenskonzepte umstellen, oder Kunden, die veränderte Stromlieferverträge abschließen, unmittelbar deutlich.

### 5.3.6 Anwendungsfeld der Studie: Biogasanlagen

Voraussetzung für die Erforschung von „Mehrperspektivität“ ist die Beschäftigung mit einem System, das eine Betrachtung aus verschiedenen Perspektiven ermöglicht und dazu ermutigt. Für die Studie zur mehrperspektivischen Systemmodellierung wurden Biogasanlagen als Thema gewählt.

Zum Zeitpunkt der Studiendurchführung bildeten Biogasanlagen ein aktuelles Thema der Energiepolitik: Mit dem anstehenden Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2016) war unklar, ob der Anlagenbestand an Biogasanlagen erhalten und ausgebaut werden könnte (Biogasrat+ 2016b). Dies bedeutete auf individueller Ebene Herausforderungen für Anlagenbetreiber, von denen die Mehrheit Landwirte sind (Agentur für Erneuerbare Energien 2020) und stellte auf regionaler bzw. nationaler Ebene den möglichen Beitrag der Anlagen zur Versorgungssicherheit infrage. Dieser Beitrag ist insbesondere durch einen flexiblen Anlagenbetrieb, die (Zwischen-)Speicherung von Gas in der Anlage oder im Gasnetz, sowie durch Zusammenschaltung von Biogasanlagen mit anderen dezentralen Anlagen wie Wind- und Solaranlagen über virtuelle Kraftwerke möglich, erfordert jedoch entsprechende Investitionen und politische Rahmenbedingungen (vgl. u.a. Biogasrat+ 2016a, Candra et al. 2019).

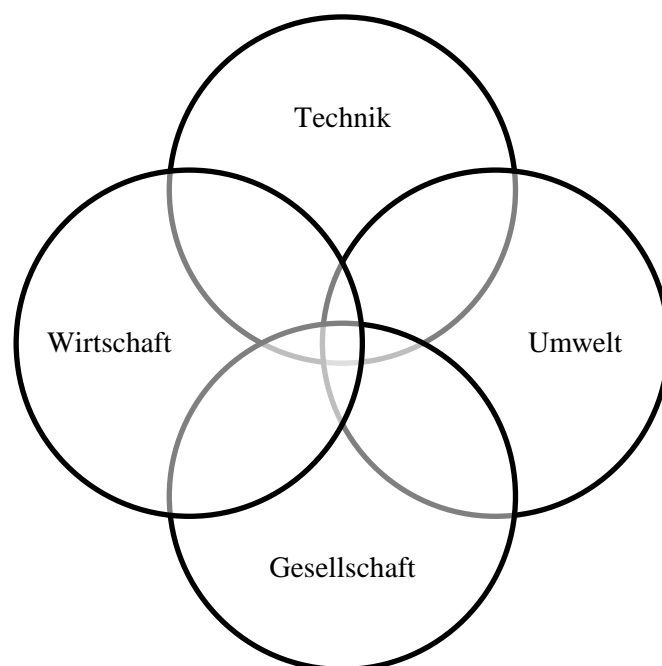
Die Intervention in der Studie wurde unter dem Titel „*Welche Rolle können und sollen Biogasanlagen im Energieversorgungssystem der Zukunft einnehmen?*“ gestaltet. Der Titel wurde bewusst offen formuliert, um eine offene Beschäftigung mit dem Themenfeld unter individueller Aneignungsperspektive zu ermöglichen.

### 5.3.7 Begriffsdefinition für die Studie

Der folgende Abschnitt fasst Begriffsdefinitionen zusammen, die klären, in welcher Form die Begriffe *Perspektive* und *Komplexität* in der vorliegenden Studie verstanden werden.

#### 5.3.7.1 Perspektiven

Der Begriff der Perspektive bildet den Oberbegriff zu den Bereichen Wirtschaft, Technik, Umwelt, sowie Gesellschaft. Mit diesen thematischen Bezeichnern wird ausgedrückt, welche Blickwinkel (vgl. Imboden und Koch 2003, S. 1) bei der Modellierung eines System berücksichtigt werden.



**Abbildung 5-8: Vernetzung von Perspektiven durch Systemmodellierung in der Studie (eigene Darstellung).**

Die vier Perspektiven vereinen die Dimensionen der Nachhaltigkeit mit den Komponenten des energiepolitischen Zieldreiecks (vgl. Kapitel 5.3.6) und bilden auf einer aggregierten Ebene<sup>49</sup> einige der Dimensionen ab, die Ropohl in seinem mehrperspektivischen Technikverständnis erfasst (vgl. Kapitel 5.3).<sup>50</sup>

Für Biogasanlagen sind in Tabelle 15 exemplarisch Stichworte zu den vier Perspektiven dargestellt.

**Tabelle 5-2: Ausgewählte Begriffe der vier Perspektiven im Themenfeld Biogasanlagen.**

Perspektive	Stichworte
Versorgungssicherheit	Energieformen Gas, Strom und Wärme Speicherbarkeit von Biogas
Wirtschaftlichkeit	Strommarkt Subventionierung von regenerativen Energien
Umweltverträglichkeit	Flächennutzung durch Anbau von Energiepflanzen Kreislaufwirtschaft durch Verwendung von Gärrückständen
Gesellschaft	Arbeitsplätze im ländlichen Raum Teller-oder-Tank-Diskussion

### 5.3.7.2 Begriffsdefinition: Perspektivische Komplexität

Die Berücksichtigung verschiedener Perspektiven in einem System ermöglicht die Vernetzung verschiedener Fach- oder Anwendungsdisziplinen und kann aus Sicht von Systemmodellierer\*innen die Komplexität des Systems erhöhen: Eine einzelne Wissensdomäne, beispielsweise eine spezifische Technologie (vgl. Kapitel 5.2.1) mit dort üblichen Methoden, wird verlassen, um einen multiperspektivischen Handlungsbereich zu betreten. So können Sichtweisen, Ziele und Interessen verschiedener Akteure oder Akteursgruppen, jedoch möglicherweise auch verschiedene Wissenschafts- oder Handlungsparadigmen aufeinandertreffen (vgl. Kapitel 5.1.2). Durch eine solch integrative Sicht werden verschiedene Sichtweisen auf Systeme relevant.

---

<sup>49</sup> Informationstexte zum Themenfeld Biogasanlagen wurden in der Studie mit Bezug auf jeweils eine Perspektive erstellt. Die Wahl der Perspektiven erfolgte so, dass ein konzeptioneller Zugang auch ohne Fachwissen möglich ist.

<sup>50</sup> Der Begriff der (thematischen) Perspektive ist von zwei weiteren Perspektivbegriffen abzugrenzen: In den Modellen der Teilnehmenden spiegeln sich verschiedene Betrachtungsperspektiven wider, welche zwischen Individualebene, institutionaler und nationaler bzw. globaler Ebene einzuordnen sind (vgl. auch Kapitel 5.3). In der Auswertung kann zudem der Lernprozess der Teilnehmenden in verschiedene Perspektiven unterteilt werden, wobei das Erreichen einer reflexiven Ebene als Perspektivwechsel bezeichnet wird (vgl. Reis und Szczyrba 2010, Kapitel 5.1.4).

Werden in der Systemmodellierung explizit verschiedene Perspektiven berücksichtigt, so erhöht dies also die Form von Komplexität, die im Folgenden als perspektivische Komplexität bezeichnet wird und sich im Grad der Vernetzung von Perspektiven in der Modellierung manifestiert.<sup>51</sup> Die Komplexität durch Perspektiven kann sich auf Ebene der Systemstruktur und des Systemverhaltens manifestieren (vgl. Tabelle 2-1).

### 5.3.8 *Wirkungsdiagramme als Darstellungsmittel dynamischer und perspektivischer Komplexität*

Im weiteren Verlauf der Studie wird unter Systemmodellierung im engeren Sinne die Modellierung mit Wirkungsdiagrammen verstanden. Diese stellt, wie andere Modellierungsansätze auch, eine spezielle Weltsicht dar (vgl. Sterman 2000, S. 1), die einen von verschiedenen Zugängen zu einer realweltlichen Problemstellung darstellt.

Ein Bewusstsein für die „Brille“ des eigenen wissenschaftlichen Paradigmas und der Systemmodellierung (vgl. Imboden und Koch 2003, S. 7), sowie die Fähigkeit, die Instanz der Urteilebene zu betreten (vgl. Kapitel 2.2.2), sollten Teil eines fortgeschrittenen Umgang mit Systemmodellen sein und werden an dieser Stelle kurz reflektiert: Ursprung, Methoden, Einsatzbereich und Weltsicht von System Dynamics, in welche sich Wirkungsdiagramme einordnen lassen (vgl. Sterman 2000, S. 137), beschreibt Sterman (2002) wie folgt:

*„System dynamics is grounded in control theory and the modern theory of nonlinear dynamics. There is an elegant and rigorous mathematical foundation for the theory and models we develop. System dynamics is also a practical tool policy makers can use to help solve important problems. And system dynamics is also a worldview, a paradigm in the sense of Thomas Kuhn. Like all powerful paradigms, it shapes every aspect of the way I experience the world.“ (Sterman 2002, S. 501).*

Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen ist also eine Darstellungsform zur Systemmodellierung, die ihre Wurzeln in mathematischen und ingenieurwissenschaftlichen Ansätzen hat. Diese Form der Modellierung fokussiert in ihren Darstellungsmitteln dynamische Komplexität, u.a. durch die Identifikation von Rückkopplungen (vgl. Sterman 2000, S. 1ff.).

In der vorliegenden Studie werden Wirkungsdiagrammen als Darstellungsform eingesetzt, die neben dynamischer Komplexität auch perspektivische Komplexität abbilden können.

---

<sup>51</sup> Das Verlassen einer Einzelperspektive (die typischerweise in Bezug zur eigenen Fachdisziplin steht) bedeutet nicht nur ein Abwenden von einfachen Mittel-Ziel-Relationen (vgl. Ropohl 2009, S. 154), sondern unter Umständen auch das Verlassen bekannter methodischer und epistemologischer Vorstellungen (vgl. Ison 2010, S. 29ff.).

Hierbei könnten Wirkungsdiagramme als transdisziplinäre Darstellungsform verstanden werden (vgl. Kapitel 5.1.3):

- Die Methodik der Wirkungsdiagramme ist leicht erlernbar und erfordert keine fachspezifischen Kenntnisse. Insbesondere ist es relativ einfach, neue Modelle zu synthetisieren.
- Wirkungsdiagramme stellen eine Darstellungsform zwischen rein qualitativen und rein quantitativen Modellen dar, sodass ein Integrations- oder Übersetzungspotential zu anderen Modellierungsformen besteht. Ihr Einsatzgebiet ist damit generalistisch und integrativ, die Überführung und Vernetzung mit anderen Modellformen ist möglich.
- Wirkungsdiagramme werden als externer Ausdruck mentaler Modelle verstanden, die sich in einem Lernprozess verändern können (vgl. Abbildung 4-1). Im Gegensatz zu statischen Darstellungsformen tragen sie Attribute, die Zeitveränderlichkeit abbilden und die Dynamik in lebensweltlichen Problemstellungen berücksichtigen können (vgl. Groesser und Schaffernicht 2012, Schaffernicht et al. 2021, Ropohl 2005, S. 29).

Somit können Wirkungsdiagramme dazu beitragen Wissen zu strukturieren, synthetische Modelle zu entwickeln, und „fächerübergreifende Problemfelder der Lebenspraxis“ (Ropohl 2005, S. 29) zu erschließen, und damit Aufgabenbereiche eines transdisziplinären Wissensverständnisses fördern.

## 6 Forschungsdesign und Forschungsmethodik

Bisherige bildungswissenschaftliche Studien über Systemmodellierung untersuchten bei verschiedenen Teilnehmergruppen das Verständnis für dynamische Komplexität. Zu den entwickelten Systematisierungsansätzen gehören Kompetenzstufenmodelle, die auf empirischer Forschung beruhen oder aus Lehrbuchinhalten abgeleitet wurden. Die Ergebnisse der Studien, die häufig mit quantitativen Forschungsmethoden arbeiteten, weisen darauf hin, dass Systemdenken und Systemkompetenzen vielfältige Einflussgrößen haben. Sie verdeutlichen andererseits auch, dass der Lernprozess des Systemdenkens und Systemkompetenzen über Systemmodelle erst in Ansätzen verstanden sind. Mit qualitativen Forschungsansätzen, beispielsweise von Ossimitz (2000), wurde gezeigt, dass Wirkungsdiagramme geeignet sind, um ein Systemdenken zu fördern.

Perspektivische Komplexität im Lernprozess der Systemmodellierung stand bisher nicht im Fokus des bildungswissenschaftlichen Forschungsinteresses. Mit den einfach erlernbaren Wirkungsdiagrammen scheint es jedoch möglich, diesen Aspekt von Komplexität bei Lernenden empirisch zu untersuchen.

Für Technikstudierende werden in der vorliegenden Studie Wirkungsdiagramme als Darstellungsform eingesetzt, um ein Modellierungsverständnis zu fördern, welches den Umgang mit dynamischer und perspektivischer Komplexität ermöglicht und damit auch disziplinenübergreifenden Qualifikationsziele für Studierende unterstützen kann (vgl. Kapitel 4.5). Wirkungsdiagramme sind dabei ein generisches Darstellungsmittel für eine vieldimensionale Systembetrachtung unter gleichzeitiger Berücksichtigung zeitlicher Veränderungen und stellen eine Alternative zu anderen Ansätzen, wie konzeptionellen Modellen in der Technikdidaktik oder linearisierenden Modellen in technischen Studienfächern dar, mit welchen die an der Studie teilnehmenden Studierenden teilweise vertraut sind.

## 6.1 Forschungsfrage und Forschungsdesiderat

Die Forschungsfrage wird wie folgt formuliert:

*In welcher Form nutzen Studierende technischer Studiengänge Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen zur Darstellung dynamischer Komplexität und zur mehrperspektivischen Betrachtung des Systems Energiewende?*

Ziel dabei ist, in einer empirischen Studie zu erkunden, in welcher Form dynamische und perspektivische Komplexität durch Studierende technischer Studiengänge mit unterschiedlichen Vorkenntnissen über Wirkungsdiagramme dargestellt werden und diese Ergebnisse zu systematisieren. Dabei werden Wirkungsdiagramme in einem Anwendungskontext eingesetzt, der in seiner Komplexität der Lebenswelt ähnlich ist. In der Studie steht für die Teilnehmenden das aktive Modellieren im Mittelpunkt der Intervention. Damit unterscheidet sich dieser Forschungsansatz von bisherigen Studien, in denen Kenntnisse in der Systemmodellierung anhand von Modellsystemen, die von den Teilnehmenden meist analytisch untersucht wurden, erforscht wurden.

Insgesamt wird, dem „Prinzip der Offenheit“ (Hoffmann-Riem 1980, Flick 2009, S. 174) folgend, ein Forschungsdesign entwickelt, welches die Exploration des Forschungsfeldes ermöglicht. Die Studie verfolgt damit ein beschreibendes, kein theoriebildendes Ziel (vgl. Tippelt 2010, S. 124f.) und nutzt ein qualitatives Datenerhebungs- und Auswertungskonzept. Um an bisherige Forschungserkenntnisse anzuknüpfen, wird die Interventionsstudie umrahmt von einem Pretest und einem Posttest durchgeführt, wobei Elemente der Tests von Ossimitz eingesetzt werden (vgl. Kapitel 6.1.1).

Das Lernsetting der Intervention ist so gestaltet, dass Teilnehmende einen individuellen Zugang zu Systemmodellierung und Mehrperspektivität erarbeiten können. Es werden während Pretest, Intervention und Posttest Daten über verschiedener Dokumenttypen erhoben. In der Auswertung wird zunächst ermittelt, welche Vergleichsebene - die Einzelfallebene oder die Ebene der Studiengangsgruppe - sich für die Beschreibung eignet, ehe die Auswertung der Daten mit einer qualitativen Inhaltsanalyse durchgeführt wird. Hierbei werden in einem zyklischen Vorgehen aus den Kategorien der Inhaltsanalyse Merkmale für eine Typologie abgeleitet.

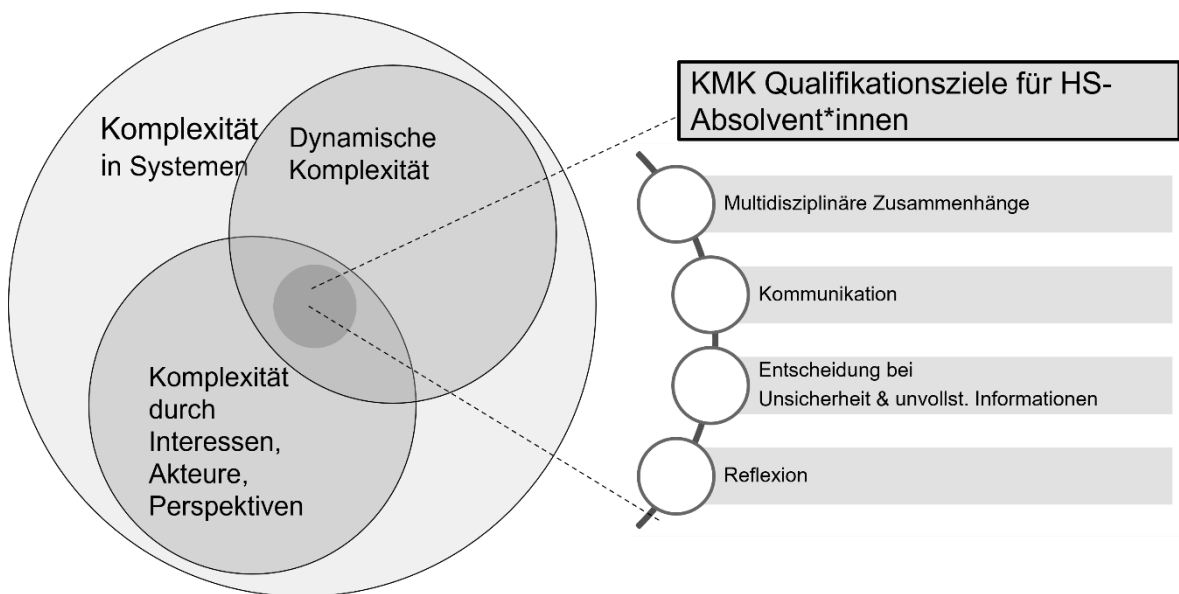
Somit werden als Ergebnis der Studie empirisch ermittelte Ausprägungen der Systemmodellierung unter Verknüpfung dynamischer und perspektivischer Komplexität über eine Typologie beschrieben und anschließend mit Bezug auf die Gesamtdaten kontextualisiert.



### 6.1.1 *Perspektivbetrachtung und Systemmodellierung als kombiniertes Ausbildungsziel*

Werden in der Modellierung von Systemen verschiedene Perspektiven berücksichtigt, so wird der Modellierungsprozess bereits bei der Formulierung einer Leitfrage komplexer. Erst ein solch mehrperspektivischer Blick auf das System ermöglicht es jedoch thematische Verflechtungen zu erfassen, wie sie auch in realen Handlungssituationen auftreten.

Die Modellierung mit Wirkungsdiagrammen stellt durch ihre einfache Darstellungsform und die Möglichkeit eines iterativen Vorgehens (vgl. Kapitel 3.2) ein Werkzeug dar, das sowohl Komplexität durch zeitliche Dynamik, als auch verschiedene Perspektiven abbilden kann. Abbildung 6-1 visualisiert den Zusammenhang, der zwischen der perspektivischen und dynamischen Komplexität in Systemen, sowie den Qualifikationszielen für Hochschulabsolvent\*innen (vgl. Kapitel 4.5) formuliert werden kann.



**Abbildung 6-1: Qualifikationsziele für Hochschulabsolvent\*innen in Bezug auf Komplexität von Systemen (eigene Darstellung in Anlehnung an KMK 2005, KMK 2017).**

Mit der vorliegenden Studie soll durch eine empirische Erhebung und deren Auswertung exploriert werden, in welcher Form Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen zur Förderung eines Systemdenkens und einer mehrperspektivischen Systembetrachtung bei Technikstudierenden genutzt werden kann.

Dabei wird ein Lehrkonzept umgesetzt, welches das selbstständige Erstellen von Systemmodellen in den Mittelpunkt stellt und den Modellierungsprozess stärker berücksichtigt als das Modellierungsergebnis (vgl. Kapitel 4.4).

### 6.1.2 *Lernen als aktiv konstruierender Prozess*

Das aktive Erstellen und Präsentieren eigener Systemmodelle steht im Vordergrund der vorliegenden Studie. Neben der Wahl einer eigenen Leitfrage, zu der ein Modell erstellt wird, durchlaufen die Teilnehmenden elementare Phasen der Systemmodellierung, wie das Abstecken der Systemgrenzen und die Wahl geeigneter Modellgrößen, während sie sich mit ihrer Fragestellung beschäftigen. Die Teilnehmer\*innen tauschen sich anschließend im Gespräch über ihre Modelle aus. So werden sie mit Entscheidungs- und Auswahl-situationen konfrontiert, die beispielsweise auch dann auftreten, wenn Akteure mit verschiedenen Perspektiven aufeinandertreffen.

Im Vergleich zu einem Lehrbuchformat mit vorgegebenen, sukzessive umfangreicheren Modellsituationen (vgl. Kapitel 4.3.3) prägt die individuelle Modellentwicklung mit möglichen Veränderungen des eigenen Modells in der Intervention den Modellierungsprozess und den Austausch mit anderen Teilnehmer\*innen. Diese Lernumgebung fördert eine aktive Sicht auf den Lernprozess (vgl. Kapitel 4.4.1).

Die Untersuchung erfolgt am Beispiel der Energiewende, in welcher das Spannungsfeld zwischen Technik, Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt (vgl. Kapitel 5.3.6) in einem realweltlichen Bezug zugänglich ist.

Um die genannte aktiv konstruierende Lernsituation zu ermöglichen, wurden durch die Forscherin folgende Kriterien an das Design und die Durchführung der Intervention formuliert:

- Die Handlungssituation in der Intervention soll der Komplexität der Realwelt ähnlich sein.
- Für Teilnehmende soll ein individueller Handlungsbezug erschließbar sein.
- Das Thema der Modellierung soll einen mehrperspektivischen Zugang ermöglichen.
- Interaktion und Kommunikation über den Modellierungsprozess sollen zwischen Lernenden gefördert und analysiert werden.
- Das Studiendesign soll das Erfassen verschiedener Einflussgrößen auf den Lernprozess (z.B. fachliches Vorverständnis, bildungskultureller Hintergrund) ermöglichen. Hierzu werden verschiedene Datentypen erhoben.

Mit diesem Ansatz grenzt sich die vorliegende Studie von bisherigen Studien ab, die entweder einen quantitativen Ansatz den Lernprozess der Systemmodellierung ergründeten und dabei einzelne Aspekte dynamischer Komplexität untersuchten oder sich auf andere Zielgruppen bezogen (vgl. Kapitel 4.3).

Neu sind auch die Berücksichtigung mehrperspektivischer Systembetrachtung, sowie das Lernsetting, das die Modellerstellung in den Mittelpunkt setzt, anstelle die Analyse bereitgestellter Situationen oder Modelle zu untersuchen.

## 6.2 Forschungsdesign

Die qualitativ-empirische Studie wurde in einem zyklischen Forschungsprozess entworfen und ausgewertet (vgl. Flick 2009, S. 126ff). Der zyklische Forschungsprozess ist in Abbildung 6-2 über die Rückwirkungen visualisiert.

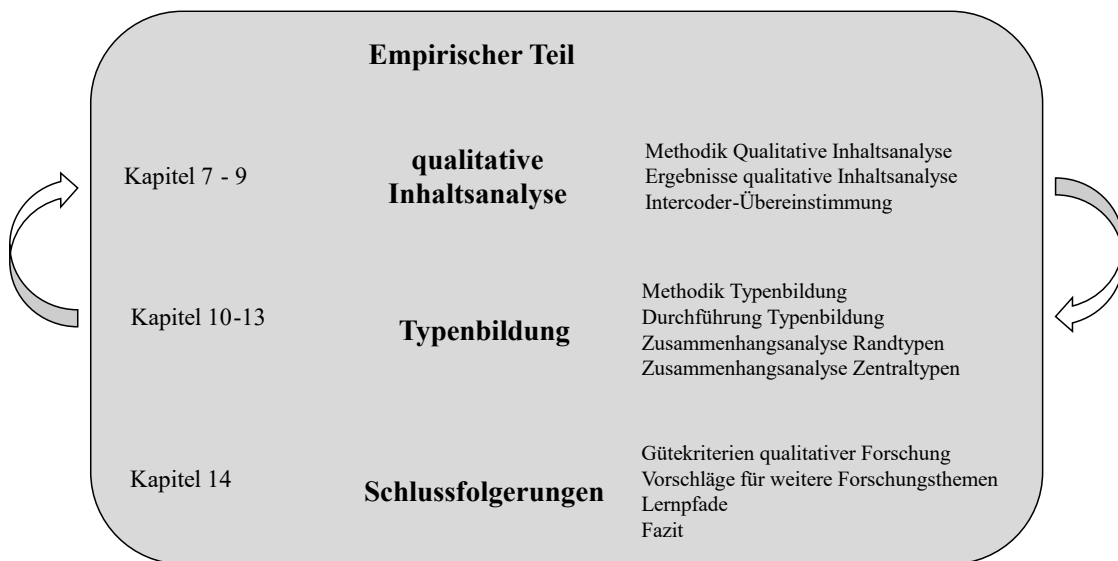


Abbildung 6-2: Zyklischer Forschungsprozess im empirischen Teil der Studie.

## 6.3 Sampling

Die Studie wurde in den Jahren 2016 und 2017 mit fünf Studierendengruppen der Hochschule Aalen (HS Aalen) und der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd (PH Schwäbisch Gmünd) durchgeführt. Alle Teilnehmenden studierten ein Fach mit technischer Vertiefung.

Mit dem Sampling von Studierenden technischer Studiengänge wurden Personen mit unterschiedlichen fachlichen Vertiefungen und Vorkenntnissen erreicht, die sich mehrheitlich in einem fortgeschrittenen Studienabschnitt befanden. So konnte ein Sample gebildet werden, das eine gewisse Breite an Vorkenntnissen und Profilen von Studierenden technischer Studiengänge abbildet (Sternal und Walliser 2020, Hanft et al. 2015).

Neben Studierende des Ingenieurwesens (Masterstudiengang Systems Engineering) nahmen Personen aus dem Bachelorstudiengang Ingenieurpädagogik, sowie Studierende des Lehramts Technik für die Sekundarstufe I an der Studie teil.

**Tabelle 6-1: Tabellarische Übersicht über die Teilnehmergruppen.**

Abkürzung	Studiengang	Hochschule	Qualifikationsstufe	Anzahl Teilnehmer <sup>52</sup>	Bekanntes Vorkenntnisse Systemmodellierung
IDM16	Industrial Management	HS Aalen	Master	7	Wahlfach Systeme und Modelle
IDM17	Industrial Management	HS Aalen	Master	9	Wahlfach Systeme und Modelle
PHT16	Lehramt Technik	PH Schwäbisch Gmünd	Hauptstudium Lehramt mit (Neben-) Fach Technik	3	Nein
MSE16	Systems Engineering	HS Aalen	Master	4	Studienschwerpunkt technische Systemmodellierung
IP17	Ingenieurpädagogik	PH Schwäbisch Gmünd und HS Aalen	Bachelor, 1. Studienjahr	7	Nein

Auch Studierende des Industrial Managements (IDM16 und IDM17), eines Wirtschaftsingenieurstudienganges für Absolvent\*innen eines technischen Erststudiums, beteiligten sich an der Intervention.<sup>53</sup> Eigenschaften der Teilnehmergruppen sind in Tabelle 6-1 zusammengefasst.

Die vertretenen Studiengänge repräsentieren Vergleichsgruppen (vgl. Flick 2009, S. 175) mit unterschiedlichen Facetten eines technischen Studiengangs. Einerseits unterscheiden sie sich bezüglich der typischen Berufsbilder: Während Systems Engineering als Mechatronik-Studiengang auf eine Tätigkeit als Systemingenieur\*in vorbereitet (vgl. Hochschule Aalen 2017a, S.2ff.), liegt die Profilierung im Studiengang Industrial Management in der Weiterbildung von Ingenieur\*innen für Führungs- und Managementpositionen. In diesem Masterstudiengang ist zudem eine individuelle Profilierung möglich (vgl. Hochschule Aalen 2013, S. 3ff.).

Die Ingenieurpädagogik wiederum vermittelt als interdisziplinäres Studium neben technischen auch berufspädagogische und fachdidaktische Inhalte und ermöglicht den Studierenden den Weg in die Industrie oder ins Bildungswesen (vgl. Hochschule Aalen 2019, S. 3ff., Hochschule Aalen 2021, Pädagogische Hochschule Schwäbisch

<sup>52</sup> Erfasst sind hier nur die Teilnehmenden, die an beiden Interventionsterminen teilnahmen und ein Einverständnis zur Auswertung der Daten abgegeben hatten.

<sup>53</sup> Voraussetzung für die Zulassung zum Masterstudium ist in beiden Masterstudiengängen ein Bachelorabschluss in einem technischen bzw. ingenieurwissenschaftlichem oder verwandten Studiengang (vgl. Hochschule Aalen 2015, S. 5, Hochschule Aalen 2008, S. 3).

Gmünd, Hochschule Aalen 2022).<sup>54</sup> Das Lehramtsstudium für die Sekundarstufe I ist ein Mehrfächerstudium, das auf den Unterricht in der Schule vorbereitet. Studienteilnehmende aus diesem Studiengang studierten das Fach Technik in Kombination mit weiteren Fächern (vgl. Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd 2015, 137ff.).

### 6.3.1 *Berufsziel der Teilnehmergruppen*




In Tabelle 6-2 ist dargestellt, wie die Teilnehmenden der vier Studiengänge ihre berufliche Zukunft einschätzten.

Am Beispiel des Traumberufs, der in der Eingangserhebung erhoben wurde und in Tabelle 6-4 als Word Cloud zusammengefasst ist, ist erkennbar, dass die Mehrzahl der IDM-Studierenden eine Tätigkeit im Bereich Führung, Management oder Vertrieb anstrebte. Demgegenüber bestätigte sich bei den Studierenden des Masterstudiengangs Systems Engineering (MSE16) das in der Modulbeschreibung benannte Berufsbild des Entwicklungsingenieurs, wobei teilweise konkrete Vorstellungen zum beruflichen Tätigkeitsfeld geäußert wurden. Von den Studierenden der Ingenieurpädagogik (IP17) wurde eine berufliche Tätigkeit im Bildungswesen angestrebt. Demgegenüber wurden von den Teilnehmenden aus dem Lehramtsstudiengang Technik (PHT16) verschiedene Aussagen formuliert, die meist als Fließtext angegeben wurden: Neben einer Tätigkeit in der Lehre wurden auch die pädagogische Forschung und einer Spezialisierung in der Sonderpädagogik als Ziele benannt. In einem Fall schien das Lehramtsstudium eher eine Kompromisslösung als ein Traumberuf zu sein. Die Begriffe der Word Cloud in Tabelle 6-2 spiegeln teilweise auch Studienerfahrung der Teilnehmer\*innen wider: Während die Studienanfänger\*innen der Ingenieurpädagogik, die zum Zeitpunkt der Studienteilnahme im ersten Studienjahr studierten, das allgemeine Berufsbild Lehrer bzw. Ausbilder nannten, präzisierten viele Teilnehmende der anderen Gruppen, die sich im Hauptstudium bzw. Masterstudium befanden, ihr Berufsbild z.B. durch Angabe einer Branche.

---

<sup>54</sup> Der Studiengang wird als Kooperationsstudiengang zwischen der PH Schwäbisch Gmünd und der HS Aalen.

Tabelle 6-2: Word Clouds und Zitate zu Aussagen der Teilnehmenden über ihren Traumberuf.<sup>55</sup>

<p><b>Industrial Management (N =16)</b></p> 	<p><b>Systems Engineering (N = 4)</b></p> 
<p><b>Ingenieurpädagogik (N = 9)</b></p> 	<p><b>Technik Lehramt (N = 6)<sup>56</sup></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Nachdem ich ein paar Jahre unterrichtet habe, und praktische Erfahrung gesammelt habe, möchte ich irgendwo dort hingehen, wo man ggf. etwas für die Zukunft tun kann, gerne für den wichtigen 'Rohstoff Kind' und wie Kinder besser gefördert werden können, z.B. in der pädagogischen Forschung“</li> <li>• „Lehrerin, und eventueller Master in Sonderpädagogik“</li> <li>• „Der angestrebte Studienabschluss ist das 2. Staatsexamen. Lehramt im Sekundarbereich oder in der Erwachsenenbildung (Berufliche Schulen)“</li> <li>• „Pilot - leider mit diesem Abschluss nicht möglich :D“</li> <li>• Keine Angabe (2x)</li> </ul>

Wie in Tabelle 6-2 dargestellt, bestand die Tendenz, dass sich Systemingenieure in der technischen Entwicklung verorteten, während Studierende aus dem Industrial Manager ausgehend von einem technischen Bachelorstudium eine Weiterentwicklung in den Bereich der wirtschaftlichen und organisatorischen Tätigkeiten anstrebten. Dieser technisch bzw. wirtschaftlich geprägten Perspektive steht die Einstellung der Studierenden im Bildungsbereich gegenüber, die ihre Handlung vorwiegend in der Lehre und somit in einer gesellschaftsorientierten Tätigkeit verorteten.<sup>57</sup>

<sup>55</sup> Beim Erstellen der Word Clouds wurden keine Wörter entfernt. Im Studiengang IDM wurden ähnliche Begriffe zusammengefasst, z.B: „Vertriebsingenieur“ und „Vertrieb“.

<sup>56</sup> Drei der dargestellten Fälle wurden in der Hauptstudie nicht berücksichtigt, da sie nicht an beiden Terminen der Studie teilnahmen.

<sup>57</sup> Die beschriebenen Charakteristika lassen sich durch die Nennung der angestrebten Kompetenzen und Schwerpunktfächer bestätigen, auf die in der Darstellung der Studienergebnisse eingegangen wird.

Insbesondere ist bei den Studierenden des Technik Lehramts angesichts eines Mehrfachstudiums und dem Besuch eines Kurses zur *Allgemeinen Technologie* ein interdisziplinär geprägtes Verständnis von Technik anzunehmen (vgl. Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd 2015). Für Teilnehmende des Studiengangs Ingenieurpädagogik schien die fachliche Profilierung im Studium nach erst zwei Semestern Studium geringer ausgeprägt. Dies bestätigte sich auch in einer Umfrage nach den Lieblingsfächern, in der neben MINT-Fächern bei dieser Gruppe meist auch weitere Fachbereiche gelistet wurden.

### 6.3.2 Vorkenntnisse in der Modellbildung

Mit dem Sampling von fünf Gruppen aus vier Studiengängen wurden Teilnehmende mit unterschiedlichen Vorkenntnissen in der Systemmodellierung erreicht, die mehrheitlich bereits mehrere Studienjahre absolviert hatten: Während Teilnehmende des Masters Systems Engineering aufgrund der Wahl ihres Masterstudium die Modellierung technischer Systeme vertieften, belegten alle Teilnehmenden aus den IDM-Studiengängen das Wahlfach *Modellbildung und Simulation*. Es handelte sich somit bei diesen Studierenden um Personen, die im Masterstudium einen quantitativ-modellierenden Zugang gegenüber aufgeschlossen waren. Zum Zeitpunkt der Studiendurchführung hatte in beiden Gruppen des Studiengangs IDM bereits eine Einführung in die quantitativen Darstellungsformen der Systemmodellierung stattgefunden.<sup>58</sup> So können für die Studiengruppe IDM zusammenfassend ein wirtschaftliches und technisches Grundverständnis, sowie die Bereitschaft zum Erlernen von Modellierungsmethoden beschrieben werden. Bei den Studiengängen Technik Lehramt und Ingenieurpädagogik sind keine Vorkenntnisse in quantitativer Modellierung bekannt.

---

<sup>58</sup> In den Gruppen IDM16 und IDM17 wurde die Studie in der ersten Semesterhälfte durchgeführt, nachdem die Teilnehmenden mathematische Modellierung mit Differentialgleichungen wiederholt hatten und die Modellierung mit Stock-Flow-Diagrammen kennengelernt hatten. Diese Darstellungsformen bilden den „quantitativen“ Teil der Systemmodellierung ab und wurden an den ersten zwei Veranstaltungsterminen des Kurses *Modellbildung und Simulation*, die vor der Durchführung der Studie stattfanden, thematisiert (vgl. Kapitel 3).

## 6.4 Ablauf der Intervention

Die Intervention fand an zwei Veranstaltungsterminen statt. Ihr Ablauf wurde über Arbeitsblätter moderiert, auf dem Arbeitsaufträge und Zeitangaben vermerkt waren.

Abbildung 6-3 oben illustriert den Ablauf des ersten Veranstaltungstermins der Intervention. Hier arbeiteten die Teilnehmenden individuell an ihrer Modellierungsaufgabe. Nach einer Informations- und Übungsphase zu den Prinzipien der Systemmodellierung informierten sich die Teilnehmenden anhand bereitgestellter Texte über Grundlagen der deutschen Energiewende und Biogasanlagen.<sup>59</sup>

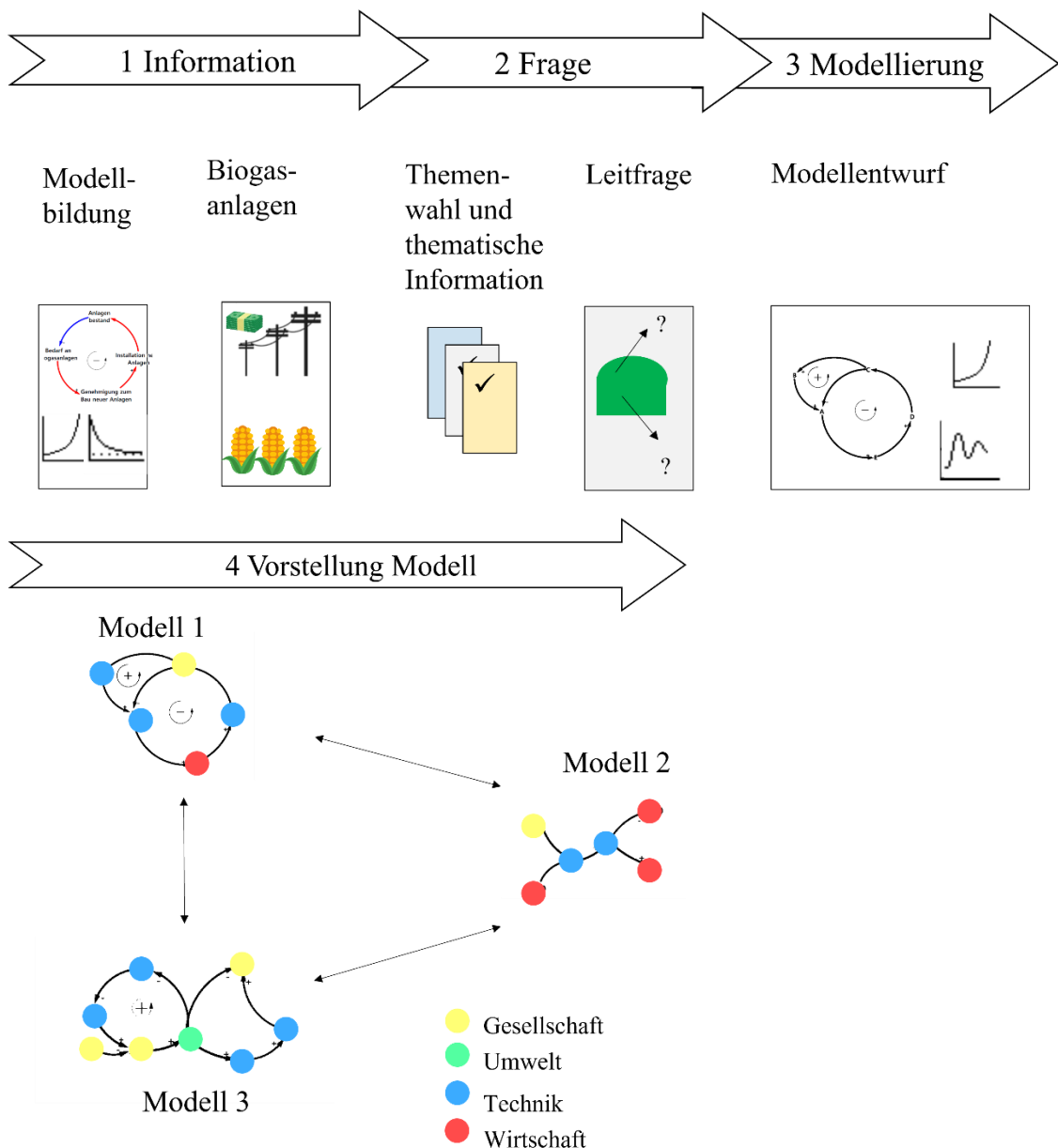


Abbildung 6-3: Ablauf der Intervention (eigene Darstellung).

<sup>59</sup> Vgl. Anhang C



Anschließend wählten sie zwei bis drei thematische Perspektiven aus, zu denen sie sich weiter über bereitgestellte Arbeitsblätter informierten.<sup>60</sup> Davon ausgehend wurde eine individuelle Leitfrage formuliert. Zu dieser Leitfrage begannen die Teilnehmenden am ersten Veranstaltungstermin ihr Systemmodell zu entwickeln. Die Modellierung wurde am zweiten Veranstaltungstermin vervollständigt. Anschließend stellten die Teilnehmenden ihre Leitfragen und Modelle in Kleingruppen einander vor und beantworteten gegenseitig Fragen zu ihren Modellen, die unterschiedliche Perspektiven berücksichtigten (vgl. Abbildung 6-3 unten).

## 6.5 Datenerhebung

Zur Erhebung dichter Daten wurden verschiedene Dokumenttypen kombiniert. Diese sind im Folgenden nach Erhebungsphasen dargestellt.

### 6.5.1 *Datenerhebung vor der Intervention*

Für eine pseudonymisierte Datenauswertung wurden von den Beteiligten ein informiertes Einverständnis zur Nutzung von Dokumenten und Gesprächstranskripten eingeholt. Die Markierung aller Daten einer Person erfolgte über ein Pseudonym, das sich aus einem Kürzel für den Studiengang, sowie einem vierstelligen Code zusammensetzt (Übersicht siehe Tabelle 0-1).<sup>61</sup>

Vor Studienbeginn füllten die Teilnehmenden einen Fragebogen mit soziodemografischen Daten und Daten zum Bildungshintergrund aus, der aus Multiple-Choice- und Freitextfragen beinhaltete.<sup>62</sup>

Zur kommunikativen Validierung von Aussagen und zur Rückfrage bezüglich studiengangsspezifischer Charakteristika wurden mit den Teilnehmenden kurze Leitfadeninterviews durchgeführt.<sup>63</sup>

Zudem beantworteten die Teilnehmenden vor Studienbeginn den Abbildung 6-4 dargestellten Pretest nach Ossimitz (2000), sowie zugehörige Multiple Choice Fragen.

---

<sup>60</sup> Vgl. Anhang C.

<sup>61</sup> Vgl. Anhang A.

<sup>62</sup> Vgl. Anhang B. Aufgrund des geringen Anteils weiblicher Teilnehmender wurde das Geschlecht nicht weiter bei der Auswertung berücksichtigt um die Pseudonymität (vgl. Anhang A.3). in der schriftlichen Arbeit zu wahren.

<sup>63</sup> Interviewleitfaden siehe Anhang B.1. Da sich die Studienganggruppe nicht als relevante Codiereinheit erwies, wurden die Daten des Interviews in der Auswertung nicht vollständig berücksichtigt. Einige Interviewtranskripte sind exemplarisch in Anhang G dargestellt. Die Durchführung der Interviews erfolgte meist in Zweiergruppen.

### **Freie Darstellung von Systemstrukturen**

Stellen Sie die im Folgenden beschriebenen Zusammenhänge so in einer Skizze oder einem Diagramm dar, dass man das Wichtigste auf einen Blick erkennt! Verwenden Sie nur Informationen aus dem Text.

Auf Seite 2 ist Platz für Ihre Lösung. Bitte notieren Sie die Zeit, die Sie für diese Aufgabe benötigen.

### **Rinderzucht in trockenen Weidegebieten**

Ein afrikanischer Stamm lebt von der Rinderzucht. Sein Einkommen hängt davon ab, wie viele Rinder er pro Jahr verkauft; je größer die Herde ist, desto mehr Tiere werden verkauft. Da es in ihrem Weidegebiet selten regnet, legen die Stammesmitglieder einen Tiefwasserbrunnen an und errichten eine Bewässerungsanlage. Zufrieden stellen sie fest, dass ihre Weidegebiete mit zunehmender Bewässerung immer fruchtbarer werden, und je fruchtbarer das Weideland ist, desto größer wird die Herde. So ist die Bewässerungsanlage kräftig in Betrieb, denn die Stammesmitglieder wissen: Nimmt das Futterangebot ab, dann verkleinert sich ihre Herde wieder. Die häufige Bewässerung hat jedoch einen unvorhergesehenen Nebeneffekt: Die in dieser Region beheimatete Tse-Tse-Fliege fängt an, sich stark zu vermehren, und je feuchter die Weidegebiete sind, desto stärker vermehrt sie sich.

Der Stamm ist über diese Entwicklung ziemlich erschrocken; die Tse-Tse-Fliege überträgt nämlich die gefährliche, zumeist tödlich verlaufende, Rinderschlafkrankheit.

**Abbildung 6-4: Pretest (verändert nach Ossimitz 2000, S. 195).**

#### *6.5.2 Datenerhebung während der Intervention*

Während der Intervention arbeiteten die Teilnehmenden an den zwei Veranstaltungsterminen gemäß einer „Checkliste“ an ihrer Modellierung.<sup>64</sup> Die gewählten Perspektiven, die Formulierung der eigenen Leitfrage, sowie das erstellte Modell in Papierform<sup>65</sup> wurden in der Datenauswertung berücksichtigt. In der vorliegenden Dokumentation wurden Modelle zur besseren Lesbarkeit in die Software Vensim<sup>®</sup> übertragen. In der Interaktionsphase stellten die Teilnehmenden einander ihre Modelle vor. Diese Gespräche wurden auf Tonband aufgezeichnet und im Fokusgruppen-Modus von MAXQDA transkribiert. Ein Zwischentest zur Erfassung der Vorkenntnisse in dynamischer Systemmodellierung, der Stock-Flow-Tasks beinhaltet, (vgl. Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4) wurde zwischen den Veranstaltungsterminen als Paper-Pencil-Test durchgeführt.

---

<sup>64</sup> Vgl. Anhang A.4.

<sup>65</sup> Scans der originalen Modelle sind in Anhang E.3 dargestellt.

### 6.5.3 Datenerhebung nach der Intervention

Nach der Intervention führten die Teilnehmenden den in Abbildung 6-5 dargestellten Posttest nach Ossimitz (2000) als Paper-Pencil-Test durch.

#### **Freie Darstellung von Systemstrukturen:**

Stellen Sie die im Folgenden beschriebenen Zusammenhänge so in einer Skizze oder einem Diagramm dar, dass man das Wichtigste auf einen Blick erkennen kann. Verwenden Sie dazu nur die Aussagen aus dem Text. Auf Seite 2 ist Platz für Ihre Antwort.

#### **Fischzucht eines indonesischen Stammes**

Ein indonesischer Stamm züchtet und verkauft Fische in eigens dafür angelegten Fischteichen. Je mehr Fische in den Teichen gehalten werden, desto mehr Fische können pro Jahr verkauft werden und desto höher sind die Einnahmen des Stammes. Bei ausreichenden Einnahmen kann sich der Stamm auch 'AlgenEx', ein Mittel zur Bekämpfung der gefährlichen Schwarzalge leisten, die sich gerne in den Fischteichen vermehrt. Sind die Einnahmen aus dem Fischverkauf gering, kann der Stamm kein AlgenEx kaufen.

Die Schwarzalge entzieht dem Wasser Sauerstoff. Je mehr Algen es im Teich gibt, desto mehr Fische ersticken an Sauerstoffmangel. Solche Fische können nicht mehr verkauft werden, weil sie faulig riechen und übel schmecken. Wenn der Sauerstoffmangel zu groß wird, kann der Teich ökologisch 'umkippen'. In einem solchen Teich können keine Fische mehr gezüchtet werden. Bis zu einem gewissen Grad kann der Stamm dem Fischteich sauerstoffreiches Frischwasser zuführen: Dazu werden Tretpumpen genutzt, die mit Muskelkraft betrieben werden.

Die Schwarzalgen lieben eher sauerstoffarmes Wasser und ernähren sich von den Exkrementen der Fische sowie von anderen, im Wasser gelösten Nährstoffen. Je mehr Fische im Teich sind, desto besser gedeihen die Algen. Durch Einsatz von AlgenEx werden die Algen gezielt bekämpft. AlgenEx ist für die Fische und die Kleinlebewesen im Teich ungefährlich.

Die Fische ernähren sich von Kleinkrebsen. Die Kleinkrebse gedeihen in sauerstoffreichem Wasser genauso gut wie in sauerstoffarmen und sind unempfindlich gegen die Schwarzalgen. Bei sonst gleichen Bedingungen wachsen die Algen bei einer hohen Zahl an Kleinkrebsen genauso gut wie dann, wenn es nur wenige Kleinkrebse gibt.

Durch einen speziellen Dünger (Rinde der Java-Eiche) können die Stammesmitglieder das Wachstum der Kleinkrebse bis zu einem gewissen Grad fördern und damit den Fischen eine bessere Lebensgrundlage bieten. Wenn die Fische nicht mehr ausreichend Kleinkrebse finden, beginnen sie, ihren eigenen Laich (Fischeier) zu fressen. Damit zerstören die Fische längerfristig ihre eigene Existenz

**Abbildung 6-5: Posttest (verändert nach Ossimitz 2000, S. 196).**

## 6.6 Transkription

### 6.6.1 Transkriptionsregeln und Datenbeispiele

Die Modellvorstellungen, sowie die begleitenden Leitfadeninterviews wurden semantisch-inhaltlich mit Zitierregeln in Anlehnung an Dresing und Pehl 2018, S. 21f. codiert: Es erfolgte eine wörtliche Transkription unter Beibehaltung der Satzform. Dialekte wurden ins Hochdeutsche übersetzt. Umgangssprachliche Ausdrücke und Partikel wurden beibehalten. Pro Sprecherbeitrag wurde ein Absatz codiert, am Ende von Absätzen wurden Zeitmarken gesetzt. Anders als in der einfachen Transkription vorgesehen, wurden Wortdopplungen und Pausen in der Regel nicht gegelättet, um die Interaktion zwischen den Beteiligten in Gruppengesprächen aufzuzeigen. Zudem wurden Rezeptionssignale (z.B. bestätigendes „mh“) transkribiert.

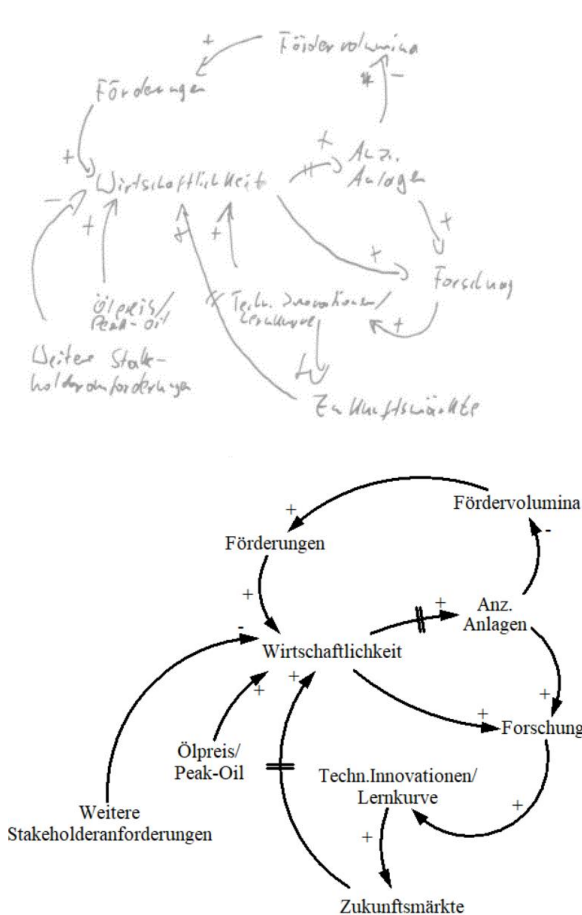
Eine Übersicht über Transkriptionszeichen ist in Tabelle 6-3 dargestellt.

**Tabelle 6-3: Übersicht über Transkriptionzeichen.**

<b>Zeichen</b>	<b>Bedeutung</b>
/	Abbruchzeichen zur Trennung von Halbsätzen
(.)	Kurze Pausen von ca. einer Sekunde
(..)	Pause von ca. 2 Sekunden
(3s)	Längere Pause von drei oder mehr Sekunden (Angabe der Dauer in Klammern)
VERSALIEN	besonders betonte Äußerungen
(lachen), (räuspern)	emotionale nonverbale Äußerungen
(unv.)	unverständliche Äußerungen
(Wortlaut?)	vermuteter Wortlaut
I:	interviewende Person
Pseudonym:	Kürzel in Gruppengesprächen (siehe Übersicht in Tabelle 0-1)

### 6.6.2 Transkriptionsbeispiele

Ein Ausschnitt aus dem Transkript einer Modellvorstellung, sowie das Modell im Original und übertragen in der Software Vensim® sind in Abbildung 6-6 dargestellt.



IDM16-W041: Also, äh, das Modell soll die Frage beantworten, inwieweit des ganze äh Biogas (unv.) langfristig (.) wirtschaftlich ist, in Abhängigkeit von Förderungen und von technischen Weiterentwicklungen. [...] Der äh nächste Loop ist dann, angenommen wir haben die Wirtschaftlichkeit gegeben, das heißt die Fördermengen sind groß genug, dass aktuell die Anlagen wirtschaftlich betrieben werden können und hier wie gesagt die Anlagen steigen, mit äh. erhöhten Investitionsvolumen mit Anlagen wird auch das Investitionsvolumen in Forschung steigen, das heißt durch Forschung ähm bekommt man neue technische Investitionen neue Erkenntnisse, das heißt sprich wir haben ne steigende Lernkurve was sich wiederum wieder positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Das heißt hier haben wir dann nen selbstverstärkenden Kreis, je mehr wirtschaftlich das wird, desto mehr hab ich Forschung desto wirtschaftlicher wird das Ganze. Ganz grob. (Fokusgruppen) IDM16\_Gruppe1\_Fokus: 69 – 75)

Abbildung 6-6: Modell und Ausschnitt des Transkripts zur Modellvorstellung bei IDM16-W041.

Die Interaktion zwischen Teilnehmenden während der Modellvorstellung kann exemplarisch am Gespräch zwischen IDM16-H028 und IDM16-A282 aufgezeigt werden:

IDM16-H028: Ich hätt schon noch ne Frage. Und zwar: Wir sind ja hier. Das ist ja hier / du hast ja vorhin gesagt das ist ja die Gesamtmenge. Also ich kann nur eine gewisse Anzahl von Abfallstoffen und NaWaRo<sup>66</sup> in so ne Biogasanlagen reintun, gell? Müssen die sich dann nicht negativ beeinflussen? #00:05:04# Also weil. Wenn ich von dem einen jetzt weniger nehme, kann ich von dem anderen mehr nehmen, wenn ich von dem anderen mehr nehm, kann ich von dem einen halt weniger nehmen.

IDM16-A282: Ja.

IDM16-H028: Muss da nicht Minus sein? #00:05:15#

IDM16-A282: Ne. Ich hab ja hier. Also wenn ich äh mehr von den nachwachsenden Rohstoffen nutze, also wenn die steigt, sinkt die Nutzung.[...] (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 30-33)

<sup>66</sup> NaWaRo – Nachwachsende Rohstoffe

## 6.7 Datenauswertung

Den von Ossimitz beschriebenen Herausforderungen bei der Interpretation von Daten in empirischen Studien zur Systemmodellierung wurde mit einem qualitativen Erhebungs- und Auswertungsansatz begegnet, der die Heterogenität der Daten und Ergebnisse im eigenen Studiendesign berücksichtigt. Bei der Datenauswertung ist neben den verschiedenen Dokumenttypen die inhaltliche Vielfalt der Daten zu berücksichtigen: Da die Teilnehmenden Perspektiven und die Leitfrage zur Modellierung selbst wählten, entstanden Modelle mit unterschiedlichem Umfang und Aggregationstiefe, die nicht auf quantitativer Ebene vergleichbar sind, aber qualitativ oder auf ordinalen Skalen gegenübergestellt werden können.

Das Auswertungsdesign wurde mit Bezug auf die Erkenntnisse aus Ossimitz' Studie entwickelt und zyklisch durchgeführt. Zentrale Elemente des Studiendesigns sind in Tabelle 6-4 zusammengefasst.

Grundlegend für die Auswertung der Daten war die Erkenntnis, dass einige sekundäre Daten des sozio-demographischen Hintergrunds, sowie manche Merkmale der Intervention sich innerhalb einer Studiengruppe teilweise ähnlich stark unterschieden, wie zwischen Studiengruppen und insbesondere bei mittleren Ausprägungen von Modellierungskennnissen und Perspektivvernetzung kein pauschaler Einfluss von methodischen Vorkenntnissen auf den Modellierungsprozess erkennbar war. Daher wurde als soziale Einheit für den weiteren Analyseprozess die Einzelfallebene identifiziert und die Studiengangsebene, die ursprünglich als Vergleichsebene für eine Typologie in Betracht gezogen worden war, verworfen (vgl. Flick 2009, S. 174, S. 524).

Zur Sichtung und Strukturierung der Daten wurde eine qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz durchgeführt, die im Rahmen des zyklischen Forschungsprozesses mit der Auswahl geeigneter, vergleichbarer Daten verbunden war. Der detaillierte Auswertungsprozess, sowie die Ergebnisdarstellung zur qualitativen Inhaltsanalyse sind in den Kapiteln 7 und 8 beschrieben.

Der Übergang von textstellenbezogener zu fallbezogener Codierung über verschiedene Dokumenttypen hinweg in der qualitativen Inhaltsanalyse stellt eine Vorarbeit für die Ableitung einer Typologie dar. Diese Gruppierung von Fällen über komplexe Vergleichsdimensionen durch Identifizierung von Sinnzusammenhängen (vgl. Tippelt 2010, S. 115ff.) ermöglicht eine Einordnung der Fälle bezogen auf ausgewählte Merkmale. Um die Erkenntnisse der Typologie im Kontext der Vielfalt weiterer erhobener Daten einzuordnen, schließt der empirische Teil der Studie mit der ausführlichen Charakterisierung der Typen ab, wobei auch eine Zusammenhangsanalyse durchgeführt wird (vgl. Kapitel, 12 und 13, Kuckartz 2018, S. 147ff.).

**Tabelle 6-4: Erkenntnisse aus Ossimitz' Studie und Konsequenzen für das eigene Studiendesign.**

Bezeichnung	Ossimitz (2000)	Design der eigenen Studie
<b>Variablen</b>		
Alter und Geschlecht	kein klarer Einfluss auf Studienergebnisse (Performanz im Test, Wahl der Darstellungsform)	Einsatz von Pre- und Posttest auch für ältere Teilnehmende (Studierende) Erfassung weiterer bildungsbiographischer und soziodemographischer Daten wie Lieblingsfächer, Berufsziel etc.
Computervorkenntnisse	leichte Vorteile im Pretest, Ausgleich im Posttest	Teilnehmergruppen mit unterschiedlichen Studienhintergründen, unterschiedlichen quantitativen Modellierungsvorkenntnissen Erfassen von Vorkenntnissen (u.a. methodische Vorkenntnisse in einem Stock-Flow-Test)
mathematische Kenntnisse	<i>High Performer</i> im Pretest häufiger vernetzend	
Low Performer	Low Performer holen im Verlauf der Studie auf	Modellierungsform, die in kurzer Zeit für verschiedene Zielgruppen zugänglich ist => Einsatz Wirkungsdiagramme statt Stock-Flow Modellierung in der Studie
Darstellungsformen	bildhafte Darstellung in allen Altersgruppen; Wirkungsdiagramme v.a. bei math. Vorkenntnissen	Darstellungsformen im Pre und Post-Test in der Auswertung systematisieren
<b>Erhebungs- und Auswertungsformen</b>		
Darstellungsaufgaben im Pretest und Posttest	kein Deckeneffekt	Pre- und Posttests von Ossimitz werden für eigene Studie übernommen
Vernetzungsindex	geeignete Auswertungsform zur Klassifikation der Pre- und Posttestaufgaben	Für Modelle mit individueller Schwerpunktwahl in der Intervention nicht geeignet. Im Schema der qualitativ-kontextualisierenden Auswertung nicht zielführend => stattdessen qualitative Auswertung der Modelle
Kommunikative Validierung	als wichtige Komponente zur Kontextualisierung von Antworten genannt	kommunikative Validierung nach Durchführung des Pretests über leitfadengestütztes Interviews, zudem Kombination von Modellen und Transkripten der Modellvorstellung
<b>Systemisches Denken</b>		
Entscheidende Variablen	Lehrer und Lernumgebung / Einflussfaktor „Lehrperson“	Selbstgesteuerte Modellierung (Moderation des Ablaufs über ein Arbeitsblatt mit Vorgabe der Modellierungsphasen), Adaptives Studiendesign, das im Rahmen der zyklischen Auswertung angepasst wurde
Lerneffekt	mehr Wirkungsdiagramme mit Rückkopplungen im Posttest	Posttest nach Ossimitz als Kontrolle, ob Kurzeinführung in Systemmodellierung „wirksam“ ist
Modellierungssoftware	weder förderlich noch hinderlich idealerweise Systemdenken softwareunabhängig vermittelt / entspr. Lehrmaterialien erstellen	Einsatz qualitativer Darstellungsformen (Wirkungsdiagramme)

Zusammenfassend unterscheidet sich der vorliegende Forschungsansatz sowohl bezüglich des zu untersuchenden Samples mit Studierenden technischer Studiengänge, als auch bezüglich des Themas und der Art des Lernsettings von bisherigen Studien. Ein zyklisches Design ermöglicht dabei im Sinne einer offenen Forschungsperspektive (vgl. Bennewitz 2013, S. 47) über ein Auswertungskonzept, das Inhaltsanalyse und Typenbildung verbindet, den Übergang von einer offenen Situation der Datenerhebung zu einer strukturierten Analyse der Daten. Die Nutzung bewährter Auswertungsformen stützt dabei die Nachvollziehbarkeit und Transparenz des Vorgehens (vgl. Flick 2014, S. 420f.).

## **6.8 Gütekriterien qualitativer Forschung**

In Studien mit qualitativem Forschungsdesign sind die klassischen Gütekriterien der quantitativen Forschung nicht anwendbar. Es ist jedoch möglich, Gütekriterien angemessen zu reformulieren. Dann rücken die Forschung in ihrer Prozesshaftigkeit und ihre Angemessenheit zur Beantwortung der Forschungsfrage, sowie die geeignete Nutzung von Methoden in den Vordergrund (vgl. Kuckartz 2018, S. 204f., Flick 2009, S. 489, Flick 2014, S. 411 ff.). Anstelle der Objektivität wird die Bestätigbarkeit von Ergebnissen als Gütekriterium betrachtet. Verlässlichkeit und Zuverlässigkeit, sowie Auditierbarkeit des Vorgehens, das über einen „Überprüfungspfad“ nachvollziehbar sein soll, treten an Stelle der Reliabilität (vgl. Flick 2009, S. 500f.). Zur Validität quantitativer Forschungsansätze korrespondieren als qualitative Gütekriterien Glaubwürdigkeit, Authentizität, sowie Übertragbarkeit und Passung (vgl. Miles und Huberman 1994, S. 278, in Kuckartz 2018, S. 202, Flick 2009, S. 506). Authentizität kann durch „Member Checks“ (Lincoln und Guba 1985, in Flick 2009, S. 500f.) bzw. kommunikative Validierung erreicht werden, bei denen Studienteilnehmer\*innen eine Rückmeldung zu den erhobenen Daten oder Forschungsergebnissen geben (vgl. ebd., Flick 2014, 413f.). Die Glaubwürdigkeit qualitativer Forschung wird unter anderem durch ausdauernde und methodenvernetzende Forschungsprozesse, sowie die Suche nach Abweichungen, blinden Flecken und abweichenden Fällen, aber auch durch Überprüfen der Bezugspunkte, die zur Interpretation genutzt werden, gefördert (vgl. Lincoln und Guba 1985, in Flick 2009, S. 500).

Abbildung 6-7 stellt interne und externe Gütekriterien dar, die in diesem Kapitel weiter beschrieben und in Kapitel 14 mit Bezug auf die Forschungsergebnisse der vorliegenden Studie diskutiert werden.



<b>Interne Güte</b>	<b>statische Kriterien</b>
	<p><b>Intercoder-Übereinstimmung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zweitcodierung strukturaler Kategorien</li> <li>• Übereinstimmungskoeffizient (Kappa nach Brennan und Prediger)</li> <li>• Inhaltliche Betrachtung der Übereinstimmungen bzw. Abweichung bei der Zweitcodierung</li> </ul>
<b>Externe Güte</b>	<b>Kriterien</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Passung von Forschungsgegenstand und Forschungsdesign</li> <li>• Anwendbarkeit</li> <li>• Übertragbarkeit</li> <li>• Einordnung der Verallgemeinerbarkeit</li> </ul>
<b>Bezugsrahmen</b>	<b>Subtiler Realismus</b>
	<p>Keine Gewissheit über Gültigkeit von Wissen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forschung als eine (von verschiedenen) Perspektiven</li> <li>• Angemessenheit von Annahmen über Phänomene prüfen</li> <li>• „Plausibilität und Glaubwürdigkeit“ von Annahmen prüfen</li> </ul> <p>Begrenzte Gültigkeit und Kontextbezug (Flick 2009, S. 522) =&gt; Spezifität von Ergebnissen</p>

**Abbildung 6-7: Interne und externe Gütekriterien, sowie theoretischer Bezugsrahmen qualitativer Forschung (eigene Darstellung).**

Der subtile Realismus kann als wissenschaftstheoretische Grundlage der Gütekriterien qualitativer Sozialforschung angesehen werden (vgl. Grunenberg 2001 S. 22ff., in Kuckartz 2018, S.203). Hierbei werden drei Prämissen formuliert:

Einerseits ist „[...] Gültigkeit von Wissen nicht mit Gewissheit [zu] bestimmen“ (ebd.). Forschungserkenntnisse werden daher bewertet, indem „Plausibilität und Glaubwürdigkeit“ (ebd.) geprüft werden.

Die zweite Prämisse besagt, dass „[...] Phänomene auch unabhängig von unseren Annahmen über sie existieren“ (ebd.) und daher in der Forschung zu prüfen ist, ob Annahmen über das Phänomen angemessen sind.

Die dritte Prämisse drückt aus, „[...] dass Wirklichkeit über die verschiedenen Perspektiven auf Phänomene zugänglich wird“ (ebd.).

Um eine Polarisierung zwischen vollständiger Anerkennung oder vollständiger Ablehnung quantitativer Gütekriterien zu vermeiden, bezieht sich Kuckartz bei der Ableitung von Gütekriterien für die „Auswertungstechnik“ (Kuckartz 2018, S. 204) der Inhaltsanalyse auf spezifische Gütekriterien, die eine „Reformulierung der klassischen Gütekriterien“ (Kuckartz 2018, S. 202ff.) bedeuten. Mit diesen Kriterien werden für Studien mit qualitativem Forschungsdesign „prozedurale Aspekte des Forschungsprozesses“ (ebd., S. 205), aber auch die Auswertung in ihrem Prozess betrachtet (vgl. ebd., S. 204ff.).

Im Folgenden sind die Eignung qualitativer Forschung für das vorliegende Forschungsvorhaben, sowie Kriterien interner und externer Studiengüte für qualitative Forschungsprozesse ausgeführt.

#### *6.8.1 Eignung qualitativer Forschung für die vorliegende Studie*

Die vorliegende Studie vernetzt Themenfelder, die bisher separat erforscht wurden: Systemmodellierung wird mit Blick auf die Förderung von Mehrperspektivität betrachtet. Es wird untersucht, wie Teilnehmende in einer konstruktivistischen Lernumgebung eine Fragestellung entwickeln, hierzu modellierend Zusammenhänge darstellen und kommunizieren. Dies führt zu Interventionsergebnissen, die nicht direkt inhaltlich, jedoch strukturell mit Bezug auf den Modellierungsprozess vergleichbar sind. Ein quantitativer Vergleich der Modellierungsergebnisse wäre nicht zielführend: Beispielsweise lassen sich die die Vernetzungsindizes nach Ossimitz (2000) nur sinnvoll auf Systemmodelle anwenden, die sich auf dieselbe Fragestellung beziehen, so dass eine hohe strukturelle Ähnlichkeit zu erwarten ist, die mit einer „Musterlösung“ abgeglichen werden kann.

Qualitative Forschung wiederum ermöglicht es, komplexe oder neuartige Themenfelder zu adressieren:

*„Der besondere Reiz qualitativer Forschung liegt häufig in der Entwicklung einer originellen oder überraschenden Fragestellung, in einem innovativen Zugang zu einem eher ungewöhnlichen Untersuchungsfeld, in der kreativen Nutzung von Methoden, in unerwarteten Ergebnissen und einer Bereicherung des theoretischen Wissensbestandes durch neue Begrifflichkeiten oder Zusammenhänge auf empirischer Basis“ (Flick 2009, S. 562).*

Ein qualitatives Forschungsdesign mit Erhebung verschiedener Datentypen scheint also passend und gegenstandsangemessen für einen offenen, erkundenden Zugang zu diesem bislang unerforschten Themenfeld (vgl. Flick 2009, S. 366, S. 474). Das Erarbeiten von Merkmalen, mit denen sich die Modellierungsergebnisse der Teilnehmenden vergleichen lassen, kann methodisch kontrolliert mit einem strukturierenden Verfahren wie der qualitativen Inhaltsanalyse erreicht werden.

Der Zugang zu den Daten über einen zyklischen Forschungsansatz bietet hierbei die Möglichkeit, „noch unbekannte Muster zu erkunden“ (Flick 2009, S. 474) und möglichst eine Offenheit gegenüber dem Forschungsgegenstand zu bewahren. Das Vorverständnis und die Sicht auf den Forschungsgegenstand, die unweigerlich beim Entwurf der Interventionsdokumente in die Gestaltung der Studie einfließen, können im zyklischen Forschungsprozess durch eine Arbeit am Material weiterentwickelt werden.

### 6.8.2 Externe Studiengüte

Die externe Studiengüte umfasst Aspekte der „Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit“ (Kuckartz 2018, S. 203, S. 217), sowie der Passung von Forschungsgegenstand und Forschungsdesign. Sie wird vor allem vom Studiendesign, und der Wahl von Auswertungsverfahren beeinflusst (vgl. ebd.).

In der vorliegenden Studie liegt der Fokus auf einem erkundenen Zugang zum Forschungsgegenstand: „[V]ielfältigere Perspektiven auf den Forschungsgegenstand“ (ebd., S. 218) können durch Verknüpfung verschiedener Methoden oder Daten erreicht werden. In diesem Sinne wurden in der Studie verschiedene Dokumententypen vernetzt, um Zusammenhänge aufzuzeigen.

Die Auswertung verschiedener Dokumente eines Falls zur Beschreibung der in der Intervention entwickelten Modelle ermöglicht gleichzeitig eine kommunikative Validierung: Die Erklärungen zu den Modellen stammen von den Teilnehmenden selbst und können mit der graphischen Darstellung der Modelle verglichen werden.

Methodisch kombiniert die vorliegende Arbeit qualitative Inhaltsanalyse und Typenbildung. Daraus resultiert ein „methodenorientiertes Vorgehen auch mit verschiedenen Datentypen“ (Flick 2009, S. 506), das angesichts des regelgeleiteten Vorgehens und der Dokumentationsphasen die Nachvollziehbarkeit von Bearbeitungsschritten.

Der Anspruch einer „Übertragbarkeit auf externe Kontexte“ (Kuckartz 2018, S. 218) wird in der vorliegenden Studie angesichts einer geringen Samplegröße nicht formuliert. Die Erkenntnisebene der Typologie bleibt auf einer beschreibend-verstehenden Ebene (vgl. Tippelt 2010, S. 124ff.).

Das Darstellungsziel der Studie besteht darin, Ausprägungskombinationen und ihre mögliche Relevanz (vgl. Flick 2009, S. 124 und 174) für die Beschreibung perspektivischer und dynamischer Komplexität durch Systemmodellierung bei von Studierenden technischer Studiengänge aufzuzeigen.

### 6.8.3 Interne Studiengüte

Interne Gütekriterien lassen sich in statische und prozessorientierte Kriterien unterteilen (vgl. Abbildung 6-7). Die Intercoder-Übereinstimmung als statisches Kriterium zur Prüfung der internen Validität wird eingesetzt, um die Codierung durch verschiedene Personen zu vergleichen (vgl. Kuckartz 2018, S. 208ff.).

In der vorliegenden Studie wurden ausgewählte Kategorien durch Studierende zweitcodiert. Das Codesystem mit strukturalen Kategorien, welches die Phasen der Modellvorstellung abbildet wurde den Zweitcodierenden inklusive Codierregeln vorgestellt (vgl. Tabelle 6-5).

**Tabelle 6-5: Codierregeln für Subkategorien, die zweitcodiert wurden.**

<b>F</b>	<b>Vorstellung der Frage, zu der ein Modell erstellt wurde</b>	Abschnitte, in denen der/die Präsentierende die Leitfrage beschreibt. Auch Erklärungen, wie es zur Formulierung der Frage kam, werden mit diesem Code markiert.
<b>M</b>	<b>Präsentation des Modells</b>	Abschnitte, in denen der/die Präsentierende das Modell vorstellt. Hierzu gehören strukturelle und inhaltliche Beschreibungen des Modells, sowie des Modellierungsprozesses, aber auch fachliche Informationen, sowie Erklärungen im Zusammenhang mit den Modellinhalten gehören dazu.
<b>Z</b>	<b>Beitrag der Zuhörer/innen</b>	Abschnitte, in denen Zuhörer/innen sich mit direktem Bezug zur Präsentation einbringt. Codiert werden insbesondere Rückfragen an die präsentierende Person, sowie Einschätzungen des Ergebnisses. Dieser Code wird <u>nicht</u> verwendet, um Verständnissignale wie „mh“ oder „okay“ zu codieren.
<b>R</b>	<b>Reaktion auf Zuhörer/innen</b>	Reaktion der/des Präsentierenden auf die Beiträge anderer Zuhörer/innen. Dieser Code wird für Abschnitte eingesetzt, in denen die Aussage der präsentierenden Person ohne einen Zuhörerbeitrag nicht getroffen worden wäre.
<b>S</b>	<b>Sonstiges</b>	Abschnitte, die sich keinem der vier anderen Codes zuordnen lassen. Hierzu gehören insbesondere organisatorische Äußerungen, Zwischengespräche, Verständnissignale, sowie Rücksprachen mit der Forscherin.

Diese Kategorien zeichnen sich dadurch aus, dass die zugehörigen Segmente recht eindeutig identifizierbar sind. Erst damit sind diese Kategorien für eine Überprüfung durch Intercoder-Übereinstimmung geeignet (vgl. Rädiker und Kuckartz 2019, S. 303). Als Codiereinheit für die Intercoder-Übereinstimmung wurde der „Satz“ gewählt (vgl. Kuckartz 2018, S. 104). Diese Sinneinheit ist auch für Personen mit geringer Vorerfahrung identifizierbar und wurde in den Transkripten über Absätze vorstrukturiert.

Die Intercoder-Übereinstimmung wurde mit dem Koeffizienten Kappa nach Brennan und Prediger (vgl. Rädiker und Kuckartz 2019, S. 299ff.) nach folgender Formel berechnet:

$$\kappa_n = \frac{p_{observed} - p_{chance}}{1 - p_{chance}}$$

$p_{observed}$  beschreibt die beobachteten Codierungen, die Wahrscheinlichkeit für Zufallscodierungen wird über  $p_{chance} = \frac{1}{N}$  bestimmt, wobei  $N$  die Anzahl der Kategorien beschreibt. Wenn sich Codierungen in der „Anzahl vergebener Kategorien pro Segment unterscheiden dürfen“ (Rädiker und Kuckartz 2019, S. 302), so wird die Zufallskorrektur unter Berücksichtigung der  $N+1$ -ten Kategorie „Nicht Codiert“ durchgeführt. In diesem Fall wird der korrigierte Wert  $p_{chance} = \frac{N}{(N+1)^2}$  verwendet.

Bei perfekter Übereinstimmung nimmt  $\kappa_n$  den Wert 1 an, „ein Wert von 0 entspricht einem Gleichstand mit dem Zufall“ (Rädiker und Kuckartz 2019, S. 303). Die Bewertung der Intercoder-Übereinstimmung kann sich an Benchmark-Hinweisen orientieren, sollte jedoch stets mit einer inhaltlichen Bewertung kombiniert werden.

Rädiker und Kuckartz (2019) nennen für  $\kappa_N$  nach Brennan und Prediger die Benchmark-Hinweise von Landis und Koch als Referenz: Ein Wert von 0,81 wird als „almost perfect“ eingestuft, Werte ab 0,61 werden als „substantial“ eingeschätzt (vgl. Rädiker und Kuckartz 2019, S. 303, Landis und Koch 1977).

Da das Kategoriensystem in der vorliegenden Studie den Ausgangspunkt eines iterativen Forschungsprozesses bildete, wurde die Zweitcodierung bereits zu Beginn des Analyseprozesses durchgeführt, um Erkenntnisse für die spätere Auswahl von Dokumentpassagen abzuleiten. Dies ist konsistent mit den Empfehlungen zum Einsatz der Intercoder-Übereinstimmung:

*„Gerade bei der erstmaligen Anwendung eines neu entwickelten Kategoriensystems sollte relativ frühzeitig mit der Überprüfung der Intercoder-Übereinstimmung begonnen werden, um Schwachstellen erkennen zu können“ (Rädiker und Kuckartz 2019, S. 290).*

Die Aussagekraft und der mögliche Einsatz statischer Kriterien (vgl. Kuckartz 2018, S. 205) wie  $\kappa_n$  sind begrenzt. So ist die Grenzziehung der Benchmark-Kriterien willkürlich, zudem ist Kappa abhängig von Anzahl und Verteilung der Codes, so dass sich keine universalen Aussagen ableiten lassen.

*„Ein Koeffizient wie Kappa quantifiziert die Qualität der qualitativen Analyse in einer Zahl und übersetzt die Arbeit in eine nachvollziehbare, weil gewohnte Form. [...] Auch wenn die übermäßige Betonung eines zufallskorrigierten Koeffizienten zu Lasten anderer wichtiger Gütekriterien qualitativer Forschung zu hinterfragen ist, so hat die Berechnung zufallskorrigierter Koeffizienten durchaus ihre Berechtigung und ihren Sinn,“ (Rädiker und Kuckartz 2019, S. 299)*

Die Berechnung des Koeffizienten ermöglicht den Vergleich von Codierungsergebnissen mit einer bestimmten Version des Kategoriensystems. Voraussetzung ist, dass die zu codierenden Segmente vorab festgelegt sind. Nur dann kann eine Zufallskorrektur sinnvoll eingesetzt werden.

Bereits bei den thematischen Kategorien, mit denen in der Studie die Perspektiven im Modell codiert wurden, gerät die Intercoder-Übereinstimmung an ihre Grenzen: Zwar können zu codierende Segmente klar definiert werden, die Zuordnung von Codes zu Text- oder Modellsegmenten ist jedoch an die inhaltliche Einschätzung der Codierer\*innen gekoppelt, was die intersubjektive Übereinstimmung beeinträchtigen kann. Insbesondere sind thematische Mehrfachcodierungen denkbar. Da in der vorliegenden Studie explizit „Mehrperspektivität“ und Vernetzung von Systemgrößen untersucht wird und somit die Überlappung Perspektiven eine gewünschte Eigenschaft darstellt, wurde für die thematischen Kategorien der im Modell vertretenen Perspektiven zunächst ein qualitativer Auswertungsansatz für die Zweitcodierung gewählt: Um Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen Perspektiven-Codes zu identifizieren, wurden die Perspektiv-Codierungen von Zweitcodierer\*innen mit denen der Forscherin verglichen. Es wurde bei den Modellgrößen explizit nach Übereinstimmungen von zwei Zweitcodierer\*innen und der Forscherin gesucht. Andererseits wurden Größen ermittelt, die durch die Forscherin und Zweitcodierende abweichend codiert wurden. Gefundene Modellgrößen wurden tabellarisch erfasst und für die weitere Kontextanalyse berücksichtigt. So konnte exemplarisch beschrieben werden, welche Modellgrößen perspektivisch eindeutig, welche mehrperspektivisch belegt waren. In der Weiterentwicklung des Kategoriensystems wurden analytische Codes zur Beschreibung der Anzahl von Perspektiven auf Fallebene eingeführt (vgl. Anhang F.1).

#### *6.8.3.1 Prozedurale Kriterien*

Eine Checkliste zur Diskussion prozeduraler Kriterien, mit der die interne Güte kategorienbildender Verfahren überprüft werden kann, ist in Anlehnung an Kuckartz (2018) im Folgenden zusammengefasst: Bezüglich Datenerfassung und Transkription sind die folgenden Aspekte zu reflektieren (vgl. Kuckartz 2018, S. 205):

- Datenfixierung
- Vollständigkeit der Transkription
- Transkriptionsregeln
- Transkriptionsprozess und Transkribierende
- Einsatz Transkriptionssoftware
- Anonymisierung von Daten
- Synchronarbeiten mit Audio und Transkript
- Einhalten von Transkriptionsregeln

Die Durchführung der qualitativen Inhaltsanalyse kann mit folgenden Fragen bezüglich ihrer internen Güte bewertet werden (vgl. Kuckartz 2018, S. 205f.):

- „Ist die gewählte inhaltsanalytische Methode der Fragestellung angemessen?“(ebd.)
- Wird die Wahl der Methode begründet? Wenn ja, wie?“ (Kuckartz 2018, S. 205f).
- „Wurde das jeweilige Verfahren in sich richtig angewendet?“(ebd.)
- „Wurde die Inhaltsanalyse computergestützt durchgeführt?“ (ebd.)
- Wurde teilweise durch mehrere Codierende codiert? Wie erfolgte die Untersuchung der Intercoder-Übereinstimmung?
- „Ist das Kategoriensystem in sich konsistent?“ (ebd., S. 206)
- Sind Kategoriendefinitionen ausgearbeitet?
- Sind Beispiele / Zitate eingebunden, um die „Bedeutung der Kategorien“ (ebd.) aufzuzeigen?
- Sind alle Daten berücksichtigt?
- Wie häufig wurde das Material durchalufen?
- Ist die Codierung nachvollziehbar / auditierbar?
- Werden abweichende (extreme, ausreißende) Fälle berücksichtigt?
- Gibt es Memos? (beispielhaft darstellen)
- Sind Originalzitate eingebunden? Wie wurden sie ausgewählt? Sind auch Widersprüche und Gegenbeispiele eingebunden?
- Lassen sich Schlussfolgerungen in den Daten begründen?
- Wie erfolgte die Archivierung / Dokumentation?

#### 6.8.4 Zusammenfassung der Implikationen für die eigene Studie

Im Sinne des subtilen Realismus empfiehlt sich eine Beschäftigung mit der Kontingenz eigener Forschungsergebnisse. Identifizierte Zusammenhänge und Muster, die in der vorliegenden Studie im Analyseprozess identifiziert werden, sind als eine von verschiedenen möglichen Darstellungen zu verstehen, die auch durch die Perspektive der Forscherin geprägt sind.

An dieser Stelle wird bereits darauf hingewiesen, dass die entwickelte Typologie einen abstrahierten Strukturierungsrahmen darstellt, der im Rahmen des vielschichtigen Auswertungsprozesses selbst wieder nur ein Modell der komplexeren Realität der betrachteten Untersuchungssituation beschreibt und im spezifischen Bezug des Samples einzuordnen ist.

Um Transparenz und Nachvollziehbarkeit zu erreichen, werden sowohl für die qualitative Inhaltsanalyse als auch für die Typenbildung die Auswertungsmethodik und damit einhergehende Reduktionsprozesse (vgl. Flick 2009, S. 522) jeweils in einem eigenen Kapitel (Kapitel 7 bzw. 10) dargestellt, ehe in den folgenden Kapiteln (Kapitel 8 bzw. 11ff.) die Ergebnisse der Analysen beschrieben werden. Hierzu wurden die Ergebnisdarstellung aus dem zyklischen Forschungsprozess in eine lineare, in Textform darstellbare Struktur überführt

Eine ausführlichere Diskussion zur Güte der Arbeit erfolgt im Anschluss an die Darstellung der empirischen Ergebnisse in Kapitel 14.<sup>67</sup>

---

<sup>67</sup> Weitere Elemente des Forschungsprozesses, wie Übersichten über Kategoriendefinitionen bzw. die Merkmalsausprägungen der Typologie, sind in den Anhängen F und G dargestellt.



## 7 Qualitative Inhaltsanalyse

Die qualitative Inhaltsanalyse (qIA) ist eine systematische, regelgeleitete und methodisch kontrollierte Form der qualitativen Auswertung (vgl. Kuckartz 2018, S. 92ff.). Das Kategoriensystem einer qualitativen Inhaltsanalyse dient in der vorliegenden Arbeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung des Merkmalsraums einer Typologie.

In diesem Kapitel sind zunächst die Grundbegriffe der Codierung beschrieben (Kapitel 7.1). Auf den Vergleich verschiedener Formen der Inhaltsanalyse in Kapitel 7.2 folgt die Darstellung des inhaltsanalytischen Auswertungsdesigns für das eigene Material. In Kapitel 7.3 werden zunächst Auswahlsschritte für die Festlegung von Codiereinheiten begründet. Der zyklische Analyseprozess ist in Kapitel 7.4 und 7.5 präzisiert. Die inhaltliche Auswertung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 8.

### 7.1 Codierung

Codieren bezeichnet in der qualitativen Sozialforschung „die Zuordnung von Kategorien zu relevanten Textpassagen bzw. die Klassifikation von Textmerkmalen“ (Kuckartz 2010, S. 57). Der Code bzw. die Kategorie<sup>68</sup> dient als Label, das von den Forschenden definiert und einer Textstelle bzw. einer Dokumentpassage zugeordnet wird. Die Codierung ist somit ein „Resultat einer menschlichen Interpretationsleistung“ (ebd., S. 58), das ausgehend von der initialisierenden Textarbeit entsteht (vgl. ebd., S. 57ff.). In der qualitativen Inhaltsanalyse kann Codierung als organisierende Tätigkeit verstanden werden, die „explorative Hinweisschilder“ (ebd., S. 60) setzt und Ausgangspunkt für weitere Analysen bildet.<sup>69</sup>

Kuckartz unterscheidet Faktencodes, thematische Codes, sowie bewertende Codes und ergänzt diese durch analytische Codes, die aus einer „intensiven Auseinandersetzung der Forscherin oder des Forschers mit den Daten“ (Kuckartz 2018, S. 61) entstehen.

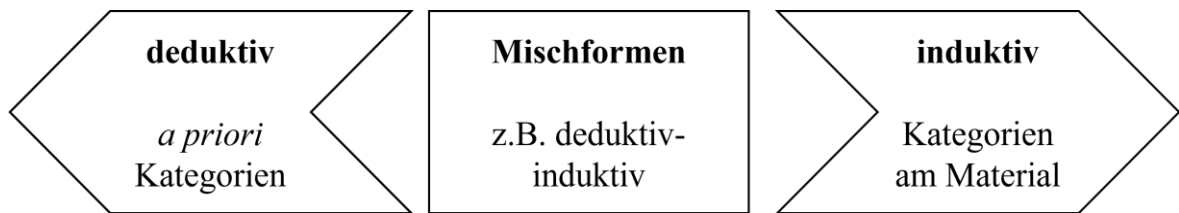
---

<sup>68</sup> Zum „Verhältnis der Begriffe *Code* und *Kategorie* siehe Kuckartz 2018, S. 35f., Kuckartz 2010, S. 58. Da kein allgemeines „Patentrezept für die Kategorienbildung“ (Kriz und Lisch 1988, S. 134) in den Sozialwissenschaften existiert, wird im Folgenden die Operationalisierung der Begriffe Kategorie, Code, Merkmalsraum etc. in Anlehnung an Kuckartz (Kuckartz 2018, S. 35ff.) gewählt. Die Konzepte Code und Kategorie werden in der vorliegenden Studie synonym verwendet, wobei die Bezeichner meist als (Sub-)Kategorien und der Auswertungsprozess als Codierung beschrieben werden.

<sup>69</sup> Im Gegensatz hierzu arbeitet die quantitative Inhaltsanalysen vorwiegend mit bewertenden Codes oder Faktencodes, wobei in der Auswertung „die Analyse der Kategorien, ihrer Korrelationen und Beziehungsmuster im Mittelpunkt [stehen]“ (Kuckartz 2010, S. 60).

In der vorliegenden Studie kommen verschiedene Codearten zum Einsatz: Während inhaltliche Zusammenhänge durch thematische Kategorien erfasst werden, werden Zusammenhänge auf Fallebene teilweise über evaluative Kategorien beschrieben, die sich ordinal, also in einer geordneten Reihenfolge, darstellen lassen. Analytische Kategorien werden gebildet, wenn Informationen im Material im größeren Zusammenhang, z.B. unter Einbindung verschiedener Dokumenttypen, kontextualisiert und codiert werden (vgl. ebd.).

Die Konstruktion von Kategorien kann zwischen zwei Polen angeordnet werden, die in Abbildung 7-1 dargestellt sind.



**Abbildung 7-1: Konstruktion von Kategorien (eigene Abbildung in Anlehnung an Kuckartz 2018, S. 64).**

Bei der deduktiven oder A-priori-Kategorienbildung werden Kategorien ausgehend von „einer bereits vorhandenen inhaltlichen Systematisierung gebildet“ (Kuckartz 2018, S. 64). Hierbei sind A-priori-Kategorien „nicht unbedingt an einer Theorie orientiert“ (ebd.): Auch Hypothesen oder Strukturierungssysteme wie Interviewleitfäden können als Grundlage dienen (vgl. ebd., S.64ff.)<sup>70</sup>

Im Gegensatz dazu werden bei der induktiven Kategorienbildung, die auch als „Kategorienbildung am Material“ (ebd., S. 64) bezeichnet wird, Kategorien direkt an den empirischen Daten gebildet (vgl. ebd.).

Beide Ansätze sind weniger verschieden, als dies zunächst erscheinen mag, da ein Bezeichner „nur dann aus dem Material emergieren [wird], wenn bereits eine Vorab-Kategorisierung in den Köpfen [...] vorhanden ist“ (Kuckartz 2010, S. 201).

Entsprechend sind „[d]ie beiden Pole der Bildung von Kategorien – vollständig induktiv bzw. vollständig deduktiv – [...] in Forschungsprojekten [...] in ihrer reinen Form nur selten anzutreffen“ (Kuckartz 2018, S. 97). In Mischformen der Kategorienbildung wie der „deduktiv-induktive[n] Kategorienbildung“ (Kuckartz 2018, S. 95, Tippelt 2010, S. 124f.) dienen zunächst A-priori-Kategorien als Suchraster für eine anfängliche Durchsicht und Kategorisierung des Materials.

<sup>70</sup> Es ist erkennbar, dass sich die Vorstellung hierzu auch in der Methodenliteratur wandelt: Schrieb Kuckartz 2010 noch über „[d]ie Bildung von [...] deduktiv, auf der Grundlage eines theoretischen Ansatzes [...]“ (Kuckartz 2010, S. 201) gebildeten Theorien, so wies er 2018 explizit darauf hin, dass nicht unbedingt eine Theorieorientierung vorliegen muss (vgl. Kuckartz 2018, S. 64).

Anschließend werden am Material weitere Kategorien und Subkategorien entwickelt (vgl. Kuckartz 2018, S. 96, Abbildung 7-1).

In der vorliegenden Arbeit wird das Kategoriensystem ausgehend von A-priori-Kategorien weiterentwickelt, die sich aus der Forschungsfrage bzw. dem Studiendesign ableiten, so dass eine deduktiv-induktive Mischform der Kategorienbildung vorliegt.

Textstellen stellen die wohl häufigste Dokumentart dar, da es in der qualitativen Sozialforschung üblich ist, soziale Wirklichkeiten in Texten zu repräsentieren (vgl. Flick 2009, S. 106). Zunehmend werden jedoch auch andere Dokumentarten wie Videos oder Bilddaten eingesetzt, die „eine bestimmte Version der Wirklichkeit“ (ebd., S. 314) abbilden bzw. dokumentieren. Codierung kann auch bei nicht-textuellen Dokumentarten wie Videos, Bild- oder Tondokumenten eingesetzt werden (vgl. Kuckartz und Rädiker 2019, S. 85 ff.). In der vorliegenden Studie wurden neben den Transkripten von Interviews auch die Modelldarstellungen von Teilnehmer\*innen als Bilddokumente mit der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet.

Es gibt verschiedene Arten von Analyseeinheiten bei der Codierung: Die Auswahleinheit wird als physische Einheit aus der Grundgesamtheit gewählt. Die Analyseeinheit bezeichnet den aufgenommenen, transkribierten bzw. codierten Teil der Auswahleinheit (vgl. Kuckartz 2018, S. 30f.) Die Codiereinheit, auch als codiertes Segment bezeichnet, beschreibt „eine Textstelle, die mit einer bestimmten Kategorie, einem bestimmten Inhalt [...] in Verbindung steht“ (ebd., S. 41). Der engen Verknüpfung zwischen Code und codiertem Segment kommt dabei in der qualitativen Inhaltsanalyse eine zentrale Rolle zu (vgl. Kapitel 7.2).

Während sich in manchen Auswertungsformen „Codes [...] auf einzelne Worte beziehen [...]“ (Kuckartz 2010, S. 76), sind auch größere Codierungseinheiten wie „Sätze, Abschnitte oder de[r] gesamte[.] Text“ (Kuckartz 2010, S. 76) möglich.

## 7.2 Ansätze der Inhaltsanalyse

In diesem Abschnitt werden als Grundlage für das eigene Auswertungsdesign verschiedene Ansätze der Inhaltsanalyse gegenübergestellt.

### 7.2.1 Ursprünge der Inhaltsanalyse

Die Inhaltsanalyse hat ihre Ursprünge in der quantitativen Charakterisierung von Textinhalten. Erste Ansätze der Inhaltsanalyse sind zu Beginn des 20. Jahrhunderts bei Max Weber zu finden, der die Analyse der Frequenzen von Zeitungsinhalten vorschlug. Die Inhaltsanalyse wurde seit den 1940er Jahren methodisch entwickelt, um über Kategorien „manifesten Inhalt [...] von Mitteilungen aller Art“ (Berelson 1952, in Kuckartz 2010, S. 218) zu erforschen. Die Analyse von Wortfrequenzen, Themenfrequenzen oder anderen Texteinheiten (vgl. Merten 1995, in Kuckartz 2010) wurde seit den 1960er Jahren auch computerbasiert und algorithmengestützt durchgeführt (vgl. Kuckartz 2010, S. 219ff.). Diese klassische Form der Inhaltsanalyse ist durch ein lineares Modell beschreibbar: Planung, Entwicklung, Testen, Codieren und Auswerten folgen aufeinander; die Ablaufreihenfolge vom Aufstellen der Forschungsfrage zur Erhebung der Daten und Analyse derselben wird linear eingehalten (vgl. Kuckartz 2018, S. 45f.).

Den komplexitätsreduzierenden Charakter dieser quantitativen Auswertungsform beschreibt Früh (2004) wie folgt:

*„Der pragmatische Sinn jeder Inhaltsanalyse besteht letztlich darin, unter einer bestimmten forschungsleitenden Perspektive Komplexität zu reduzieren. [...] Bei dieser Reduktion von Komplexität geht notwendig Information verloren: Einmal durch die Ausblendung von Mitteilungsmerkmalen, die die untersuchten Texte zwar besitzen, im Zusammenhang mit der vorliegenden Forschungsfrage aber nicht interessieren; zum anderen tritt ein Informationsverlust durch die Klassifikation der analysierten Mitteilungsmerkmale ein. [...] Die originären Bedeutungsdifferenzen der einheitlich in einer Kategorie zusammengefassten Mitteilungsmerkmale bleiben unberücksichtigt.“ (Früh 2004, in Kuckartz 2018, S. 42.).*

Im Gegensatz dazu besteht ein Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse darin, den Zugriff auf (latente) Sinnzusammenhänge zu ermöglichen. Ein zyklisches Vorgehen mit Rückbezug auf vorherige Stufen der Auswertung ist hierbei charakteristisch.

### 7.2.2 Konzepte der qualitativen Inhaltsanalyse

Bei der qualitativen Inhaltsanalyse stehen Exploration und Interpretation von Daten im Vordergrund. Auch der latente Inhalt von Texten wird dabei betrachtet (vgl. Kuckartz 2010, S. 220). Die Codierung erfolgt in der Regel auf der Ebene von Sinneinheiten statt Wörtern, so dass ein Kontextbezug erhalten bleibt.

*„Es werden in der Regel Sinneinheiten codiert, jedoch mindestens ein vollständiger Satz“ [...] Beim Zuordnen der Kategorien gilt es, ein gutes Maß zu finden, wie viel Text um die relevante Information herum mitcodiert wird. Wichtigstes Kriterium ist, dass die Textstelle ohne den sie umgebenden Text für sich allein ausreichend verständlich ist (Kuckartz 2018, S. 104).*

Methodisch bleibt trotz des reduzierenden Vorgehens durch Kategorienbildung der Rückgriff auf Originaltextstellen erhalten. Hier ermöglicht der Einsatz von Software zur qualitativen Datenanalyse ein strukturiertes und transparentes Vorgehen zum Datenmanagement, zur Datenvisualisierung, sowie zur Vernetzung und Analyse von Zwischenergebnissen (vgl. Kuckartz 2010, S. 247f., Kuckartz 2018, S. 163ff.).

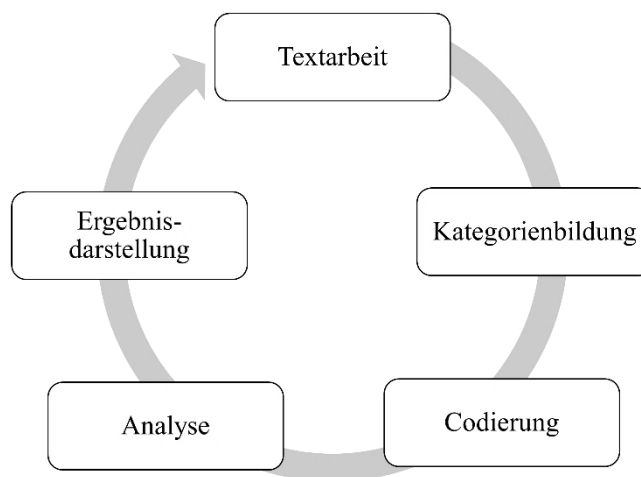
*„In der qualitativen Inhaltsanalyse bleibt die Beziehung zwischen Kategorie und Ausgangsmaterial während der gesamten Analyse bestehen und es kann jederzeit von Interesse sein, auf den zugrunde liegenden codierten Text zurückzugreifen“ (vgl. Kuckartz 2018, S. 42f.).*

„Fälle und Kategorien“ (Kuckartz 2018, S. 49) bilden „die grundlegenden[n] Strukturierungsdimensionen“ (ebd.) der qualitativen Inhaltsanalyse.

Bei der qualitativen Inhaltsanalyse sind verschiedene Abstraktionsebenen der Codierung möglich: Neben textstellenbezogener Codierung können auch fallbezogene Codierungen durchgeführt werden (vgl. Kuckartz 2010, S. 101, siehe Kapitel 7.2.4).<sup>71</sup>

In ihrer Ablaufstruktur sind Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse oft durch Iterationen und Rückkopplungen charakterisiert<sup>72</sup>: Verschiedene Methodenbereiche sind nichtlinear miteinander vernetzt und Erkenntnisse aus der Analyse können frühere Schritte wie die Textarbeit und Entwicklung von Kategorien beeinflussen (vgl. Abbildung 7-2).

Somit sind dynamische Veränderungen „innerhalb bestimmter Leitplanken“ (Kuckartz 2018, S. 46) für Formen dieses Analyseprozesses charakteristisch.



**Abbildung 7-2: Generelles Ablaufschemas qualitativer Inhaltsanalysen (verändert nach Kuckartz 2018, S. 45).**

<sup>71</sup> Bei weiteren Strukturierungsphasen in der Auswertung, z.B. in Form einer Typologie, kann auch gelöst von der Individualebene codiert werden, etwa um Handlungsmuster und Strategien auf Ebene der Institution zu untersuchen (vgl. Kelle und Kluge 2010, S. 111). In der vorliegenden Arbeit wird der Einzelfall als Abstraktionsebene der Kategorienbildung identifiziert (vgl. Kapitel 7.5).

<sup>72</sup> Kuckartz spricht von Methodenbereichen statt Analysephasen, um die enge Vernetzung und Wechselwirkung in der Auswertung zu betonen (vgl. Kuckartz 2018, S. 45f.).

Hierzu zählt eine Veränderung der Kategorien, zum Beispiel durch Verfeinern und Ausdifferenzieren, Streichen oder Hinzufügen von Elementen. Auch die Art der Kategorien kann sich wandeln, etwa wenn thematische Kategorien in evaluative überführt werden, nachdem eine „intensive Beschäftigung mit dem Material“ (Kuckartz 2018, S. 47) dies nahelegt. Weiterhin ist die Vernetzung eines inhaltsanalytischen Vorgehens mit einer Typenbildung möglich (vgl. ebd., S. 47ff., Kapitel 10).

Sowohl die Umwandlung zwischen Kategorienarten (vgl. Kapitel 7.4.2), als auch die Überführung einer Inhaltsanalyse in eine Typologie (vgl. Kapitel 11ff.) werden in der vorliegenden Studie eingesetzt.

### 7.2.3 Zusammenfassende qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring

Bei der zusammenfassenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring wird mit a priori definierten Kategorien eine Materialreduktion „auf einem vorab möglichst genau fixierten Abstraktionsniveau“ (Kuckartz 2010, S. 94) angestrebt, um

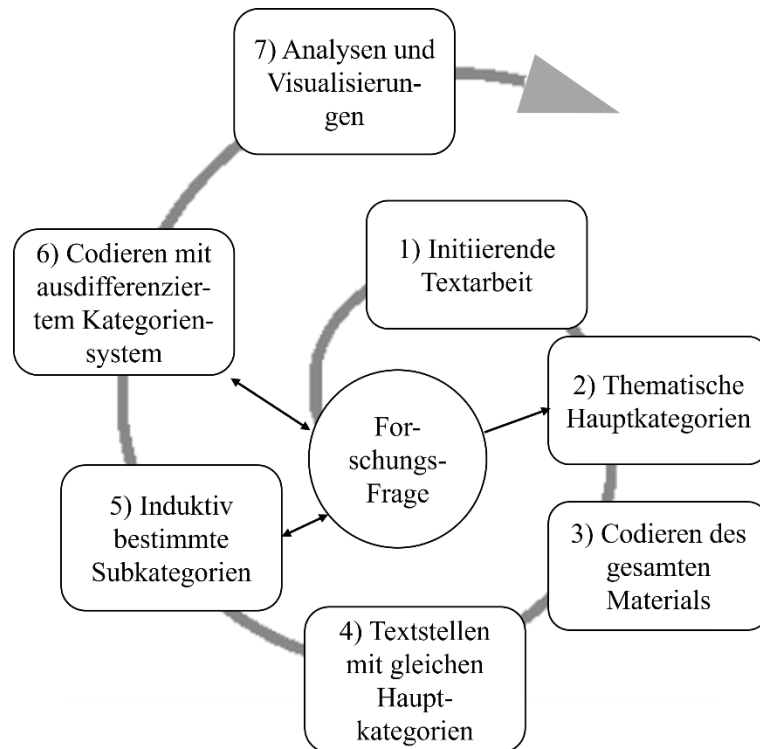
*„das Material so zu reduzieren, dass die wesentlichen Inhalte erhalten bleiben, [sowie] durch Abstraktion einen überschaubaren Corpus zu schaffen, der immer noch Abbild des Grundmaterials ist“ (Mayring 2003, S. 58).*

Die Codierung erfolgt paraphrasierend: Durch frühes Zergliedern kann das Material schrittweise bearbeitet werden, um ein vorab festgelegtes, unter theoriegeleiteten Analyseaspekten entwickeltes Kategoriensystem auf die Daten anzuwenden (vgl. Mayring 2003, S. 58, Kuckartz 2010, S. 61ff.).

Dem Verfahren liegt also ein linearer Forschungsprozess zugrunde, bei dem durch Kategorien regelgeleitet sprachliches Material in ein Kommunikationsmodell eingeordnet wird (vgl. Kuckartz 2010, S. 92). Jedoch gibt es in diesem Auswertungsmodell „keine Rückwirkung auf die Datenerhebung und deren Gestaltung“ (Kuckartz 2010, S. 93). Insgesamt besitzt das Ergebnis dieser Inhaltsanalyse einen beschreibenden Charakter (vgl. ebd., S. 96).

### 7.2.4 Inhaltlich-strukturierende qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz

Die inhaltlich-strukturierende Inhaltsanalyse nach Kuckartz weist verstärkt die in Abbildung 7-2 dargestellten Elemente eines zyklischen Forschungsprozesses auf: Ein Kategoriensystem wird in einem zyklischen Prozess unter regelmäßigem Rückbezug auf die Forschungsfrage weiterentwickelt (vgl. Abbildung 7-3).



**Abbildung 7-3: Ablaufschema einer inhaltlich-strukturierenden Inhaltsanalyse (verändert nach Kuckartz 2018, S. 100).**

In der ersten Phase werden in der initiierenden Arbeit am Material interessante Zusammenhänge und Auswertungsideen erfasst und Fallzusammenfassungen geschrieben. In der zweiten Phase werden thematische Kategorien abgeleitet, die sich aus der Forschungsfrage ergeben oder am Material identifiziert werden können. Die Eignung für die Forschungsfrage und die Anwendbarkeit am Material werden durch Codierung an einem Teil der Fälle überprüft.<sup>73</sup>

In der dritten Phase wird das gesamte Material mit den Hauptkategorien codiert. Hierbei ist eine Mehrfachcodierung möglich, da Passagen mehrere Haupt- und Subthemen umfassen können. Die Codierung erfolgt nur für sinntragende Elemente, wobei „in Zweifelsfällen die Zuordnung aufgrund der Gesamteinschätzung des Textes vorgenommen wird“ (Kuckartz 2018, S. 102). Die Codiereinheit wird weit genug gewählt, um Sinneinheiten zu erfassen und codierte Textstellen verständlich zu machen.

Es folgen das Zusammenstellen von Textstellen mit gleicher Codierung in Phase 4 und die Ableitung von Subkategorien in Phase 5, wobei Subkategorien durch Definitionen und Beispielen aus dem Material veranschaulicht werden.<sup>74</sup> Anschließend wird in

<sup>73</sup> Kuckartz empfiehlt hier 10-25% des Gesamtmaterials (Kuckartz 2018, S. 102).

<sup>74</sup> In der Ausgabe von 2010 spricht Kuckartz hier von Ankerbeispielen (vgl. Kuckartz 2010, S. 26.).

Phase 6 das gesamte Datenmaterial mit dem ausdifferenzierten Kategoriensystem codiert.

Dieser analytische Prozess führt zur Trennung von Codeeinheiten und Kontext.<sup>75</sup> Durch die Suche von Querbezügen werden in Phase 7 Zusammenhänge aufgezeigt (vgl. Kuckartz 2018, S. 112). Hier können beispielsweise Einzelfälle in Fallübersichten zusammengefasst oder Einzelfallinterpretationen untersucht werden (vgl. Kuckartz 2018, S. 117). Alternativ kann die weitere Analyse von Zusammenhängen über eine Typenbildung erreicht werden (vgl. Kapitel 10).

Für die Codierung weist Kuckartz darauf hin, dass abhängig von den Eigenschaften des Materials, eine Zusammenfassung von Phasen möglich ist. Eine begrenzte Anzahl von Subkategorien vereinfacht hierbei den Codierungsprozess.

*„Für die Bildung von Subkategorien gilt generell das Kriterium der Sparsamkeit und Überschaubarkeit: So einfach wie möglich, so differenziert wie nötig [...]“ (Kuckartz 2018, S. 108).*

Insbesondere bei anschließender Typenbildung ist die Anzahl der Subkategorien so zu wählen, dass eine Gruppierung ähnlicher Fälle möglich bleibt (vgl. Kuckartz 2018, S. 97ff.).

In der vorliegenden Studie wird die inhaltlich-strukturierende qualitative Inhaltsanalyse unter anderem zur Ausdifferenzierung von Perspektiven in der Modellvorstellung auf Ebene der Textstellen eingesetzt. Die Weiterentwicklung des Kategoriensystems auf eine fallbezogene Ebene umfasst auch Elemente der evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse, die Daten auf einer abstrakteren Ebene codiert.

### 7.2.5 Evaluative qualitative Inhaltsanalyse

Mit der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse werden „Themen und Subthemen“ (Kuckartz 2018, S. 123) systematisiert und in Relation zueinander gesetzt. Demgegenüber wird mit der evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse das betrachtete Material bewertet und eingeschätzt. Hierzu werden meist ordinal geordnete Kategorien auf Fallebene codiert, wobei eine „eher großflächige Betrachtung bzw. Abstraktion von der Ebene der Textstellen vorgenommen wird“ (vgl. Kuckartz 2018, S. 144). Die Ergebnisse dieser Analyseform lassen sich gut tabellarisch darstellen.<sup>76</sup>

In der vorliegenden Studie werden evaluative Kategorien eingesetzt, um dokumentübergreifende Zusammenhänge zu erfassen.

---

<sup>75</sup> „Mit der Codierung von Textsegmenten und der späteren Zusammenstellung von Textsegmenten der gleichen Kategorie geht notwendigerweise ein Prozess der Dekontextualisierung einher“ (Kuckartz 2010, S. 62).

<sup>76</sup> Trotz der tabellarischen Darstellung sind Analyseeinheiten „auf Basis menschlichen Verstehens“ (Kuckartz 2018, S. 124) erstellt. Somit unterscheidet sich die evaluative qualitative Inhaltsanalyse von der wortbasierten quantitativen Inhaltsanalyse (vgl. Kapitel 7.2.1).



Mit der Inhaltsanalyse erfolgt eine strukturierte Reduktion von Daten, wobei in der computergestützten Auswertung die Zugriffsoption auf die Originaldaten erhalten bleibt (vgl. Kuckartz 2010, S. 24ff.). Im Folgenden sind Ausschnitte aus der Methodenliteratur zusammengestellt, die Reduktions- und Auswahlprozesse in qualitativen Daten begründen bzw. beschreiben. Auf sie wurde in der zyklischen Entwicklung des Kategoriensystems (vgl. Kapitel 7.4f.) zugegriffen.

### **7.3 Auswahlsschritte im Auswertungsprozess der qualitativen Inhaltsanalyse**

Eine Forschungsfrage über Mehrperspektivität und dynamische Komplexität lässt vielschichtige Sinnzusammenhänge vermuten, für welche die Kapitel 6.3 beschriebenen heterogenen Daten gegenstandsangemessen scheinen, um eine dichte Beschreibung von Zusammenhängen zu ermöglichen (vgl. Geertz 1973 in Flick 2009, S. 84).

Strategien zur Vermeidung von *Data overload* (vgl. Kuckartz 2010, S. 141) sind empfehlenswert, um nutzbare, sinntragende Muster im Material zu finden.

Die Auswahl von Daten beginnt mit der Selektion der zu transkribierenden Einheiten. Zu Umfang und Auswahl von Transkriptionseinheiten finden sich bei Strauss und Corbin (1996) folgende Aussagen:

*„Die allerersten Interviews [...] sollten vollständig transkribiert und analysiert werden, bevor man das nächste Interview [...] durchführt. Das frühe Kodieren leitet die folgenden Feldbeobachtungen und/oder Interviews [...] Zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Theorie sich entwickelt, mag es sein, dass Sie die Tonbänder nur abhören und ausschließlich die Sätze, Abschnitte oder Textstellen transkribieren möchten, die mit der entstehenden Theorie in Zusammenhang steht. (Am Anfang der Studie ist man sich nicht sicher, was dazugehört und was nicht. Deshalb ist es besser, alles zu transkribieren, da sonst wichtige Daten verloren gehen könnten.) [...] Letztendlich muß jeder selbst entscheiden, in welchem Umfang er [...] transkribiert [...] Sie müssen festlegen, was Sinn und Zweck Ihrer Studie ist und welchen zusätzlichen [...] Beitrag bereits transkribierte versus nicht transkribierte Teile des Materials zur gesamten Untersuchung leisten. [...]“ (Strauss und Corbin 1996, S. 14f., Kuckartz 2010, S. 40).*

In der vorliegenden Arbeit erfolgte für die sinntragenden Passagen der Modellvorstellung eine vollständige Transkription. Die validierenden Interviews zu soziodemografischen Daten wurden nur zur Rekontextualisierung eingesetzt. Hier wurden Ausschnitte transkribiert, die mit der Auswertungsergebnissen in Verbindung standen.

Bei der Bildung des Kategoriensystems werden in einem iterativen Vorgehen Kategorien gruppiert und zusammengefasst oder weiter ausdifferenziert (vgl. Abschnitt 7.2.4.) Es lässt sich nicht pauschal beantworten, wieviel Material bearbeitet werden muss, um eine endgültige Kategoriendefinition zu erstellen. Laut Kuckartz

sind zehn bis 50 Prozent des Materials geeignet, wobei auch der Umfang des Materials eine Rolle spielt (vgl. Kuckartz 2018, S. 86).

Typischerweise wird in einem „mehrstufige[n] Verfahren der Kategorienbildung und Codierung“ (Kuckartz 2018, S. 97) zunächst grob mit einer überschauberen Zahl von Hauptkategorien codiert, um in einer weiteren Phase eine Ausdifferenzierung vorzunehmen (vgl. ebd.).

Bei bereits feststehenden Dimensionen lassen sich Grob- und Feincodierung auch gemeinsam bewerkstelligen (Kuckartz 2010, S. 101, Kuckartz 2018, S. 110f.). Dies wurde in der vorliegenden Studie genutzt, da die Entwicklung eines Kategoriensystems im zyklischen Forschungsdesign teilweise parallel zur Datenerhebung erfolgte und für manche Kategorien bereits eine deduktiv ermittelte Ausdifferenzierung von Kategorien vorlag.

Eine Begrenzung der Kategorienzahl ist einerseits bei geringem Sample-Umfang sinnvoll aber auch bei einer geplanten Typenbildung angezeigt:

*„Bezüglich der Anzahl der Dimensionen (Subkategorien), die man unterscheiden will, sollte man pragmatisch vorgehen und den Sample-Umfang beachten. Es macht wenig Sinn, bei relativ wenigen Forschungsteilnehmenden sehr viele Subkategorien bzw. Merkmalsausprägungen zu unterscheiden. Das gilt besonders dann, wenn im Anschluss an die Themenanalyse im nächsten Schritt eine Typenbildung erfolgen soll, denn bei der Bildung von Typen geht es um Ähnlichkeiten und Differenzen von Forschungsteilnehmenden – und dies macht zwingend erforderlich, dass nicht jeder Einzelfall ein Sonderfall ist, sondern sich die definierten Merkmalsdimensionen auch bei mehreren Fällen des Samples finden lassen“ (Kuckartz 2010, S. 102).*

Da die vorliegende Studie eine Typenbildung als Auswertungsziel besitzt, wurde die Anzahl der Hauptkategorien limitiert. Insbesondere erfolgte bei fallbezogenen Kategorien eine Abstraktion auf Ebene evaluativer oder analytischer Kategorien, um auch im heterogenen Datensatz Gruppierungen zu erhalten (vgl. Kapitel 8).

## 7.4 Qualitative Inhaltsanalyse in der eigenen Studie: Übersicht

Im weiteren Verlauf des Kapitels ist das inhaltsanalytische Vorgehen für die eigene Studie methodisch beschrieben. Die Ergebnisse der Inhaltsanalyse sind in Kapitel 8 dargestellt. Die anschließende Typenbildung ist methodisch, in ihrer Durchführung und Auswertung in den Kapiteln 10 bis 13 dokumentiert.

### 7.4.1 Konventionen zur Beschriftung von Modellzitate

In der Darstellung der qualitativen Inhaltsanalyse werden häufig kombinierte Zitate aus Bildern (Modellabbildungen) und Transkripten eingesetzt (vgl. Abbildung 6-6).

Für diese Darstellung werden folgenden Konventionen vereinbart:

- Unterstrichene Passagen in Transkripten korrespondieren mit Modellgrößen oder Modellstrukturen in der Abbildung des Modells.
- Fett hervorgehobene Passagen markieren Inhalte, auf die im begleitenden Text Bezug genommen wird.
- Modelle wurden durch die Forscherin in Vensim<sup>®</sup> (Ventana Systems 2015) nachgebildet.<sup>77</sup> Der Darstellungsprozess ist in Tabelle 7-3 illustriert.
- Werden Gesprächssituationen zitiert, in denen die Aussagen einer Person im Fokus der Auswertung stehen, so wird das Pseudonym der entsprechenden Person fett hervorgehoben.

Codierungen der Subkategorien zur Hauptkategorie *Perspektiven im Modell* erfolgen mit denselben Farbcodes, die auch in der Studie eingesetzt wurden (vgl. Tabelle 7-1).

**Tabelle 7-1: Farbcodierung der vier thematischen Codes zu Perspektiven.**

Farbe	Blau	Rot	Grün	Gelb
Perspektive	Technik	Wirtschaft	Umwelt, Ressourcen	Gesellschaft, Politik

Während in der Codierung der Modellgrößen nur eine Perspektive zugeordnet werden, werden Codeüberlagerungen in Transkriptsegmenten in der Mischfarbe codiert<sup>78</sup>

Ein Beispiel für die Codierung thematischer Kategorien und deren Überlagerung ist in Tabelle 7-2 abgebildet.

<sup>77</sup> Originaldokumente sind im digitalen Anhang hinterlegt.

<sup>78</sup> Die Codierung erfolgt in Anlehnung an die Farbcodierung überlappender Elemente bei der visuellen Datenanalyse in MAXQDA.

**Tabelle 7-2: Codierung von Modelldokumenten von IDM17-H680 für die Hauptkategorie Perspektiven im Modell.**

Modell von IDM17-H680	
<p><b>Dokumentenporträt für die Subkategorien der Hauptkategorie Vernetzung von Perspektiven</b>                  (Transkript zur Modellvorstellung von IDM16-H680, Dokument: IDM17_Gp3_teil1 Abs. 46-52)</p>	
<p><b>Ausschnitt der Codierungen Transkripts zur Modellvorstellung von IDM17-H680 (Abs. 46-50)</b></p>	
<p>..Technologie</p> <p>..Umwelt</p> <p>..Technologie</p> <p>..Umwelt</p> <p>..Technologie</p> <p>..Umwelt</p> <p>..Technologie</p> <p>..Umwelt</p> <p>..Technologie</p> <p>..Technologie</p> <p>..Technologie</p> <p>..Umwelt</p> <p>..Technologie</p> <p>..Technologie</p> <p>..Umwelt</p> <p>..Umwelt</p>	<p>46 H680: Okay. Soll ich dann mal. #00:08:07# Meine Frage war. Wie können Biogasanlagen effizienter genutzt werden, um Ressourcen sparen zu können unter der Berücksichtigung technischer und umweltbezogener Aspekte.#00:08:17# Also. angefangen hab ich mit den Biogasanlagen. Dann hab ich die technische Weiterentwicklung neben/ wegen technischer Aspekte. Ähm die Substratnutzung, die du ja vorher schon angesprochen hast. eben die Energie, die da produziert wird. Dann noch fossile Energie, Umwelt und Ressourcen, und. aber wenn ichs erklär, dann ist es vielleicht ein bisschen / also. #00:08:40# Wenn ich Biogasanlagen hab, mach ich ja technische Weiterentwicklung, damit die effizienter sind.</p> <p>47 S960: Mh.</p> <p>48 H680: und einfach die Substrate auch effizient nutzen(?). Das bedeutet je mehr Biogasanlagen ich hab, um so mehr technische Weiterentwicklung brauche ich#00:08:53#</p> <p>49 S960: Mh.</p> <p>50 H680: Je mehr technische Bio/ äh Weiterentwicklung ich hab jedoch, desto weniger Biogasanlagen brauch ich ja, weil sie dann effizienter sind. (Ja, dann?) brauch ich auch nicht so viele. Wenn ich dann auch technische Weiterentwicklung hab, desto weniger Substrate brauch ich, also je mehr ich davon hab, desto weniger Substrate brauch ich beziehungsweise kann auch ne Variation nehmen. Das bedeutet wieder mehr Energie. Ähm. Je mehr Biogasanlagen ich hab, desto mehr Energie hab ich, je mehr Energie ich hab oder brauch, desto mehr Biogasanlagen brauch ich. Ähm. Je mehr Biogasanlagen ich hab, desto fossile Energie verbrauch ich. Und ähm die Ressourcen hab ich eben so. wenn für technische Weiterentwicklung brauch ich ja Ressourcen um die herzustellen. Das bedeutet, je mehr technische Weiterentwicklung ich brauch, desto mehr Ressourcen brauch ich. Je mehr Ressourcen ich aber hab, desto mehr technische Weiterentwicklung kann ich auch machen.</p> <p>51 S960: Mh.</p>

#### 7.4.2 *Analyseeinheiten und Codierung*

In der vorliegenden Arbeit wurde die Codierung auf verschiedene Datentypen angewendet (vgl. Kuckartz und Rädiker 2019, 3f.). Neben den verschriftlichten Daten aus den Gesprächsgruppentranskripten werden auch graphische, sowie formale bzw. symbolische Darstellungen der Teilnehmenden aus der Intervention analysiert. Während zunächst die gesamten Auswahleinheiten (mit den Dokumenttypen Fragebögen, Transkripten, Modellen etc.) dokumentiert und analysiert wurden, wurde mit Blick auf die Typenbildung geeignete Codiereinheiten mit zunehmend fallbezogenen Analyseeinheiten gewählt.

Bei der Inhaltsanalyse wurde ein deduktiv-induktives Vorgehen verfolgt: Zunächst erfolgte eine inhaltlich-strukturierende Codierung mit thematischen Kategorien, die aus der Struktur der Interventionsdaten abgeleitet wurden. Die Ausdifferenzierung von Subkategorien, sowie Ableitung neuer Kategorien erfolgte am Material.

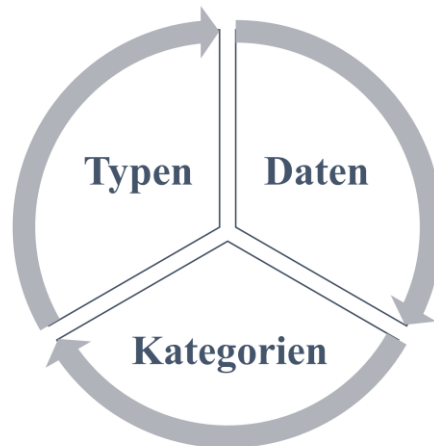
Der Übergang von einer textstellenbasierten zu einer fallbezogenen Codierung umfasst zunehmende Abstraktions- und Interpretationsschritte. Mit der fallbezogenen Codierung wurde als Vorbereitung auf eine Typenbildung die Bandbreite von Ausprägungen aufgezeigt. Hierbei wurde auch auf bewertende und analysierende Codes zugegriffen, um durch „within-case“-Vergleiche (vgl. Kuckartz 2018, S. 117) über Codiereinheiten hinweg eine Gesamteinschätzung zu ermöglichen (vgl. ebd., S. 102). Der Zugriff auf die verschiedenen Dokumenttypen erlaubte eine Validierung von Aussagen, um den von den Teilnehmenden gemeinten Sinn besser zu erfassen.<sup>79</sup> Andererseits erschwerten Widersprüche, unklare oder fehlenden Informationen in der kommunikativen Validierung die kohärente Gruppierung von Fällen für eine Typenbildung auf Fallebene. Daher wurde die Datenbasis zur Bildung des Kategoriensystems eingeschränkt. Im Folgenden sind die Iterationen der Codierung beschrieben, die zum Kategoriensystem als Basis für eine Typologie führten.

---

<sup>79</sup> Die Eignung und Notwendigkeit solcher Validierungen wurden auch von Ossimitz beschrieben, vgl. Kapitel 4.3.4.

## 7.5 Iterationszyklen der Inhaltsanalyse

Der Wechsel zwischen Datenauswahl, Inhaltsanalyse und Typologien, wurde in mehreren Zyklen durchlaufen (vgl. Abbildung 7-4).



**Abbildung 7-4: Zyklischer Auswertungsprozess.**

### 7.5.1 Auswertungszyklus I: Sichtung der Daten und erste kohärente Fälle

Der erste Zyklus wurde mit zwei der fünf Studiengruppen (ca. einem Drittel der Fälle) durchgeführt. Die explorative Betrachtung umfasste das gesamte Datenmaterial und einen umfangreichen Datensatz. Neben *A priori*-Kategorien wurde die Grundlage zur Ableitung von Kategorien am Material gelegt. Hier lag der Schwerpunkt auf einer textstellenbezogenen Analyse.

#### 7.5.1.1 Datenbasis

In der ersten Iteration der Auswertung wurden die gesamten Daten der Gruppen IDM16 und MSE16 transkribiert bzw. in graphischer oder tabellarischer Form in MAXQDA dokumentiert. Sie bildeten im Sinne des qualitativen Forschungsparadigmas den Ausgangspunkt für eine offene Analyse, indem sie dichte Beschreibung der Fälle ermöglichten (vgl. Geertz 1973 in Flick 2009, S. 84).

#### 7.5.1.2 Entwicklung des Kategoriensystems

Die Codierung der Dokumente erfolgte zunächst textstellenbezogen mit Kategorien, die deduktiv aus der Forschungsfrage bzw. der Struktur der Rahmendokumente abgeleitet wurden.

Beschreibungen, sowie Definitionsansätze und Ankerbeispiele für erste Subkategorien wurden in Memos festgehalten (vgl. Abbildung 7-5, Kuckartz 2010, S. 26).<sup>80</sup>

<p><b>Definition</b> Der Code <i>eine Perspektive</i> wird vergeben, wenn im Interventionsmodell eine Perspektive klar prägend ist und auch in der weiteren Intervention eine Perspektive betrachtet wird.</p> <p><b>Codierregel</b> Dies zeichnet sich durch einen der folgenden Fälle aus</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• es wird ausschließlich mit Informationen gearbeitet, die einer Perspektive zugeordnet werden können</li><li>• im Fall einzelner Nennungen von Größen, die weiteren Perspektiven zugeordnet werden können (oder nicht klar zuzuordnen sind), erfolgt in der Gesamtdarstellung des Modells, insbesondere in der Modellvorstellung, eine eindeutige Fokussierung auf eine Perspektive</li></ul> <p><b>Besonderheiten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Der Code wird auch vergeben, wenn die ursprüngliche Fragestellung mehrere Perspektiven berücksichtigt, in der Modellierung dann jedoch nur auf eine Perspektive eingegangen wird.</li><li>• <i>Die Vergabe des Codes ist zu überprüfen, wenn in den Gesamtdokumenten des Falls eine Offenheit für weitere Perspektiven vorliegt (die sich im Modell allein nicht explizit ausdrückt).</i></li><li>• Die Codes G,W,T,U bilden die Basis für die Absteckung der Perspektiven. Werden Modellgrößen durch eine/n Teilnehmer/in explizit anders eingeordnet, als dies durch die Forscherin erfolgt, so sind solche Abweichungen als „unklare Codierung“ zu markieren.</li></ul> <p><b>Ankerbeispiel</b> IDM17 - S959: Modell, das ausschließlich Kosten betrachtet und aufschlüsselt</p>
--

Abbildung 7-5: Exemplarische Darstellung eines Codememos.

### 7.5.1.3 Von A-priori-Kategorien zu Kategorien am Material

Thematische Kategorien zu den Perspektiven in der Studie sind aus der Struktur des Forschungsdesigns abgeleitet: Die Bereiche *Wirtschaft, Technik, Gesellschaft/Politik* und *Umwelt/Ressourcen* wurden bereits in den Interventionsdokumenten vorgegeben. Um die empirischen Ausprägungen in den Dokumenten einzuordnen und einen Übergang zu falbezogenen Kategorien vorzubereiten, wurden prägnante Aussagen mit in-vivo-Codes markiert. Einige Beispiele hierzu sind für die Hauptkategorie *Perspektive in der Modellvorstellung* mit den Subkategorien *Wirtschaft* und *Technik* in Tabelle 7-3 dargestellt.

Die in-vivo-Codes zeigen, welche Bedeutung die Transkripte der Modellvorstellung für codierter Datensegmente besitzt: Erst die den Transkripten zeigen Kontext wie die Selbsteinschätzung durch die Teilnehmer\*innen auf.

---

<sup>80</sup> Zu Beginn der Studie wurde die qualitative Inhaltsanalyse in Anlehnung an Kuckartz 2010 durchgeführt. Aufgrund der anwendungsfreundlicheren Beschreibung des Auswertungsmodells wurde im weiteren Verlauf der Studie mit dem Ablaufmodell aus Kuckartz 2018 gearbeitet.

**Tabelle 7-3: In-vivo-Codes zur Hauptkategorie *Perspektive in der Modellvorstellung* mit Beschreibung des Subcodes.**

Person	In-Vivo-Code	Beschreibung der Ausprägung
IDM16-W041	<i>IDM16-W041: [...]Nächste Voraussetzung. Ich geh davon aus, dass der Mensch rational ist, rational wirtschaftlich. Das heißt nur weil er irgendwie die Dinge schön findet, was für die Umwelt tun will, wird er keine Anlage bauen. (IDM16_Gruppe1_Fokus, Pos. 104-105)</i>	rein wirtschaftlich
IDM16-G846	<i>IDM16-G846: [...]steht dann halt auch in Konkurrenz zur Wirtschaftlichkeit [...] (IDM16_Gruppe2_Fokus, Pos. 3)</i>	Wirtschaft vs. andere Perspektiven
MSE16-W123	<i>MSE16-W123: [...]Das Finanzielle dabei mal völlig außer Acht gelassen [...] (MSE16_Aufnahme_Modell1, Pos. 53)</i>	nicht wirtschaftlich
MSE16-E744	<i>MSE16-E744: [...]Dennoch als technisch angehauchter Mensch kann man die Technik immer nie außer Acht lassen (MSE16_Aufnahme_Modell1, Pos. 2)</i>	Wahl der Perspektive Wirtschaft
MSE16-H808	<i>MSE16-H808: [...]Aber irgendwie ist es dann doch wesentlich wirtschaftlicher geworden (MSE16_Aufnahme_Modell1, Pos. 38)</i>	Perspektivität als Prozess
MSE16-H808	<i>MSE16-H808:[...]Technologie als Wichtigstes [...] Man muss die Effizienz steigern, sonst bringt das alles nichts (MSE16_Aufnahme_Modell1, Pos. 66)</i>	Technologie als Treiber

Diese Einschätzungen wären aus der Analyse der Systemmodelle allein nicht erschließbar gewesen. Durch die Arbeit an den verschiedenen Dokumenten konnte induktiv die noch ‚offen‘ (Kelle und Kluge 2010, S. 71) formulierte Kategorie *Perspektiven im Modell* weiterentwickelt bzw. in eine analytische Kategorie überführt werden, um Art, Anzahl und Gewichtung der Perspektiven auf Fallebene zusammenzufassen.

#### 7.5.1.4 Induktiv ermittelte Hauptkategorien

Aus der Gesamtschau der Dokumente eines Typus wurden weitere fallbezogene Hauptkategorien abgeleitet.

So zeigte die Beschreibung der Modelle durch die Teilnehmenden, inwieweit die Systemmodellierung konzeptionell verstanden und vollständig eingesetzt wurde. Hier wurden verschiedene Ausprägungen identifiziert. Die Bandbreite reicht von vollständigen und markierten Darstellungen von Wirkungsdiagrammen mit Rückkopplungen bis zum fehlenden Einsatz von Wirkungsdiagrammen.



Zunächst ließ sich aus den Transkripten verschiedener Teilnehmer\*innen ein Konzeptverständnis für dynamische Zusammenhänge und Wechselwirkungen erkennen.

- *IDM16-A282: „[...] beeinflussen sich die beiden Anteile, also die Nutzung von Abfallstoffen und nachwachsenden Rohstoffen untereinander“ (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 10)*
- *IDM16-H028: „Da gibts halt ne Wechselwirkung wenn die einen steigen, die anderen jetzt zum Beispiel fallen, dann kann es sein, dass die Kapazität konstant bleibt.“ (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 56)*
- *IDM16-A282: „Also Minus mal Minus ist Plus, ja.“ (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 35) [Bezug auf die Polarität von Relationen]*

Auch eine Vernetzung zwischen Perspektiven und zeitlicher Dynamik konnte in den Transkripten der Modellvorstellungen identifiziert werden: So wurden technische und wirtschaftliche Größen mehrfach direkt zusammen mit dynamischen Zusammenhängen benannt.

- *MSE16-H808: [...] man sieht, dass alles irgendwie in die Kosten reinfließt (MSE16\_Aufnahme\_Modell1, Pos. 38)*
- *IDM16-H028: [...] einpendelt auf nem Niveau wo es rentabel ist (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 63)*
- *MSE16-E744: [...] dadurch reguliert sich das System ja selber, das ist ja die Technik [...] (MSE16\_Aufnahme\_Modell1, Pos. 22)*

Als induktiv ermittelte Hauptkategorie konnte der Umgang mit (fehlenden) Informationen identifiziert werden:

- *MSE16-744: Da war jetzt nicht hundertprozentig so viel im Text (MSE16\_Aufnahme\_Modell1, Pos. 2)*

Andererseits war auch der Rückgriff auf Fachwissen, etwa zur Eingrenzung des Modellrahmens, erkennbar:

- *IDM16-H028: Ich hab erst mal abgegrenzt. Gerade in Deutschland haben wir ja eine besondere Situation mit unserem Energiemarkt.(IDM16-H028)*

Die Wahl der eigenen Leitfrage in der Intervention mag an dieser Stelle die Vernetzung von Textinformationen mit anderen Wissensquellen begünstigen.

Da die Vorstellung von Modellen in Kleingruppen erfolgte, wurden zudem gruppendynamische Prozesse betrachtet: Mit der induktiv ermittelten Hauptkategorie *Interaktion* wurden Kommunikationsmuster der Modellvorstellung markiert.

Als Beispiele sind hier nachfragendes Verhalten

- *IDM16-H028: Ich hätt schon noch ne Frage (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 30)*

oder die Selbsteinschätzung zum eigenen Modell zu nennen:

- *PHT16-B114: Ja, das war viel dazu im Text. Deswegen ist das jetzt so groß geworden (PHT16\_Modelle\_G1\_1, Pos. 22)*

Die Interpretation entsprechender Interaktionsformen ist jedoch nur im Kontext der Gesamtsituation aussagekräftig.

#### *7.5.1.5 Auswahl von Dokumenten und Einfluss auf die Typologie*

Die Sichtung der vollständigen Datensätze in den Gruppen IDM16 und MSE16 zeigte, dass teilweise komplementäre und erklärende Informationen aus verschiedenen Dokumenten zu fallspezifischen Codierungen zusammengefasst werden konnten. Um das Potenzial der dichten Beschreibung über verschiebene Datentypen zu nutzen und exemplarisch darzustellen, wurde für einzelne Vertreter\*innen der Gruppen IDM16 und MSE16 eine Einzelfallbeschreibungen erarbeitet, in dem die Aussagen aus verschiedenen Dokumententypen zu einer Fallbeschreibung zusammengefasst wurden.

So konnte beispielsweise bei IDM16-H028 der in der Modellierung erkennbare Fokus auf wirtschaftliche Zusammenhänge über den persönlichen Bildungsweg erklärt werden: Vor Studienbeginn hatte der Teilnehmer eine Ausbildung im Bankensektor absolviert. Die analytische Denkweise und wirtschaftliche Argumentationsmuster sind bei diesem Fall in verschiedenen Dokumententypen nachweisbar.

Dieser klaren Einordnung stehen weniger konsistente Daten bei anderen Teilnehmenden gegenüber: Teilweise erwiesen sich Informationen aus der Rahmenerhebung als zu spezifisch, um im vergleichenden Kontext nützlich zu sein. Teilweise waren (vermeintliche) Widersprüche oder fehlende Informationen in den Gesamtdaten eines Falls zu erkennen, die nur durch eine umfangreichere Datenerhebung aufgelöst werden könnten.

#### *7.5.1.6 Erkenntnisse für die nächste Iteration*

Die Sichtung der soziodemografischen Daten zeigte, dass diese mit Ausnahme des Berufsbilds<sup>81</sup> innerhalb der Studienganggruppen keine deutlichen Übereinstimmungen vorlagen, sondern eher eine Breite der Ausprägungen erkennbar war. Die Fallebene wurde damit als Ausgangspunkt für die weitere Analyse gewählt.<sup>82</sup>

Die Interventionsdokumente (Modelle und Transkripte zur Modellvorstellung) wurden zusammen mit den Vorkenntnissen zur Modellbildung als Grundlage für das Kategoriensystem festgelegt. Diese Dokumente bilden einen übersichtlichen, und doch inhaltlich aussagekräftigen Rahmen für fallspezifische Codierungen: Modelle und Transkripte der Modellvorstellung können direkt aufeinander bezogen werden und gemeinsam zur Ableitung von Codes auf fallbezogener Ebene verwendet werden. Insbesondere lassen sich Codierungen zu Perspektiven und Entwicklungsstufen der Modellierung auf Fallebene zuordnen, so dass ein direkter Bezug zur Forschungsfrage möglich ist.

---

<sup>81</sup> siehe auch Word Cloud in Tabelle 6-2.

<sup>82</sup> Von einer weiteren Abstraktion der Kategorienbildung von der Fallebene hin zur Ebene von Teilnehmergruppen oder Studiengängen als „natürliche Gruppen“ (vgl. Kuckartz 2018, S. 156) wurde daher abgesehen.

Dieser Auswahlsschritt, der auch die Nichtbeachtung von Pretest und Posttest-Daten bedeutete, verhinderte zudem „in [den] Daten zu ‚ertrinken‘“ (Kelle und Kluge 2010, S. 57) und ermöglichte die Fokussierung auf Kategorien, die eine Typenbildung mit Bezug auf die Forschungsfrage vorbereiteten. Gleichzeitig blieben weitere Daten der Erhebung für die Rekontextualisierung der Ergebnisse verfügbar.

Eine Entfernung vom Konzept natürlicher Studiengangsgruppen impliziert auch, dass methodische Vorkenntnisse als Einflussfaktoren auf die Leistung in der Studie untersucht werden können. Um dies genauer und unabhängiger vom der Studiengangsgruppe zu erfassen, wurde ab der zweiten Studiengangsgruppe (MSE16) in der Datenerhebung eine Zwischentest-Aufgabe ergänzt, die Fragen zum Stock-Flow-Task beinhaltete (vgl. Kapitel 4.3.1). Diese wurde von den Teilnehmer\*innen zwischen den beiden Interventionsterminen bearbeitet.

### *7.5.2 Auswertungszyklus 2: Vielfalt der Ausprägungen*

#### *7.5.2.1 Datenbasis*

In der zweiten Iteration der Auswertung lagen die Dokumente aus allen Teilnehmergruppen vor.

Da die Beschreibung der Entwicklungspfade von mehreren Fokusgruppen nicht bearbeitet oder in der Modellvorstellung nicht ausführlich dargestellt wurde, und somit für die Analyse und Interpretation die mündliche Beschreibung der Entwicklungspfade teilweise fehlte, wurde dieser Teil der Intervention nicht in die weitere Auswertung übernommen. Hierbei wurde die von Ossimitz (2000) und Sommer (2005) formulierte Erkenntnis berücksichtigt, dass mündliche Aussagen über eigene Systemmodelle eine wichtige Informationsquelle zur Erarbeitung des subjektiv gemeinten Sinns darstellen (vgl. Kapitel 4.3.5). Daher wurden Fälle mit unvollständigem Datensatz von der Typenbildung ausgeschlossen, da hier die Modelle der Intervention nicht ausreichend mit den mündlichen Modellvorstellungen verglichen werden konnten.

Zudem wurden die Daten von Personen, die kein Einverständnis zur vollständigen Datennutzung gegeben hatten, von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

#### *7.5.2.2 Entwicklung des Kategoriensystems*

Die Hauptkategorien des Kategoriensystems wurden über Subkategorien weiter ausdifferenziert. Andererseits wurden Codes auf Fallebene zusammengeführt.

Wichtige Erkenntnisse ergaben sich aus dem Vergleich der Parallelgruppen IDM16 und IDM17: Trotz vergleichbaren Studienhintergrunds zeigten sich in den beiden Gruppen sehr unterschiedliche Ausprägungen bezüglich der berücksichtigten Perspektiven und dem methodischen Umgang mit Systemmodellierung. Die Annahme,

dass Personen mit quantitativen Modellierungsvorkenntnissen ein methodisch genaueres Modell erstellen würden, als Studierende ohne diese Vorkenntnisse, ließ sich im Vergleich der Daten aus den Gruppen IDM16 und IDM17 (mit Vorkenntnissen) und IP17 (ohne Vorkenntnisse in der Systemmodellierung) nicht pauschal bestätigen.

Die Breite der Ausprägungen innerhalb einer Studiengruppe veranlasste somit auch die Bildung von abstrakteren (Sub-)Kategorien, die sich von der Codierung einzelner Aussagen durch in-vivo-Codes lösten und stärker evaluativ bzw. analytisch geprägt auf Fallebene codiert wurden.

#### *7.5.2.3 Einflüsse auf die Typenbildung*

Durch die Ausprägungsvielfalt zwischen den Fällen der Gruppen IDM16 und IDM17 wurde die Fallebene als Ausgangspunkt für die Typenbildung bestätigt. Es wurde ein Merkmalsraum entwickelt, in welchem die Vernetzung der Perspektiven im Modell und die methodische Darstellung der Modelle die Hauptachsen bildeten (vgl. Kapitel 10).

Dabei ergaben sich sieben Gruppierungen. Da eine Gruppierungen nur durch einen Einzelfall vertreten war, wurde das Schema des Merkmalsraums als zu feingliedrig bewertet. Daraus wurde eine Zusammenfassung von Subkategorien für die Dimensionierung des Merkmalsraums abgeleitet (vgl. Kapitel 14.2).

#### *7.5.2.4 Auswahlentscheidungen und Änderungen*

Personen, die sich nur an einer der zwei Veranstaltungen beteiligten, wurden aus der weiteren Datenanalyse ausgeschlossen, da da hier keine ausreichend Datenbasis vorhanden war.<sup>83</sup>

Da in der letzten Teilnehmergruppe IP17 keine Personen vertreten waren, die mit einem Studienschwerpunkt Energietechnik ihr Einverständnis zur Datennutzung gaben, und die Ergebnisse eines Tests zu regenerativen Energien keine klare Differenzierung ermöglichte, wurde statt der Einordnung der Vorkenntnisse zu erneuerbaren Energien die Art der Informationsquelle bei der Modellierung im Kategoriensystem abgebildet.<sup>84</sup> Somit wurde die Nutzung fachlicher Vorkenntnisse auf einer allgemeineren Ebene berücksichtigt.

---

<sup>83</sup> Ein Vergleich der Codierungen zeigte hier, dass dies die maximalen Ausprägungen bezüglich Methodik und Perspektiven nicht beeinflusste.

<sup>84</sup> Dies führt zu klareren Aussagen als die Auswertung der Fragen zum Vorwissen im Bereich erneuerbarer Energien.

### 7.5.3 Auswertungszyklus 3: Komplexitätsreduktion und finales Kategoriensystem

#### 7.5.3.1 Datenbasis

Die Formulierung von Codedefinitionen des finalen Kategoriensystems erfolgte gemäß dem von Kuckartz (2018) beschriebenen Auswertungsmodus: Grundlage bildeten hier die Interventionsdaten der Gruppen PHT16, MSE16, IDM17 und PHT16, die alle vier Studiengänge repräsentierten. Aus jedem Studiengang wurden die Daten einer Kleingruppe gewählt, deren Teilnehmer\*innen bei der Modellvorstellung zusammengearbeitet hatten. Somit wurde das Kategoriensystem ausgehend von zwölf der 30 Fälle entwickelt, was 40% der Teilnehmenden mit vollständigem Datensatz entspricht.

#### 7.5.3.2 Entwicklung des Kategoriensystems

Das finale Kategoriensystem wurde auf Basis der in Kapitel 7.2.4 beschriebenen Inhaltsanalyse nach Kuckartz erarbeitet. Fallbezogene thematische Summaries (vgl. Kuckartz 2018, S. 111) ermöglichten die Zuordnung zu Merkmalsausprägungen und dienten als kompakte Form der Visualisierung analysierter Daten (vgl. Kapitel 8.2).<sup>85</sup>

Das Kategoriensystem umfasst sieben Kategorien. Zur Abstraktion auf Fallebene wurden aus thematischen Kategorien evaluative Kategorien entwickelt. Diese ordinal skalierten Subkategorien ermöglichen die Einordnung von Fällen entlang einer Skala.<sup>86</sup> Analytische Kategorien fassen Erkenntnisse aus Interpretation und Analyse der verschiedenen Daten zusammen.

Da der beschriebene Analyseprozess spezifisch an den Eigenschaften des Samples orientiert ist, sind die Erkenntnisse aus der Kategorienbildung zunächst nur für die betrachtete Teilnehmergruppen aussagekräftig. Das finale Kategoriensystem mit seinen Codedefinitionen und Fallbeispielen ist in Kapitel 8 dargestellt. Es beinhaltet auch eine Zusammenhangsanalyse zwischen Kategorien als Vorbereitung auf die Typenbildung.

#### 7.5.3.3 Einflüsse auf die Typenbildung

Mit den tabellarisch erfassten evaluativen bzw. analytischen Kategorien werden Ähnlichkeiten zwischen Fällen mittels Konfigurationen dargestellt und verschiedene Codekombinationen verglichen. So konnten erste Gruppierungen als Vorstufe einer

---

<sup>85</sup> Für die Gesamteinordnung der Fälle wurde im Zweifelsfall auf Originaldokumente zurückgegriffen, um analytische Erkenntnisse an Originalaussagen zu prüfen (vgl. Kuckartz 2018, S. 111ff.).

<sup>86</sup> Die ordinalen Skalen stellen zwar eine natürliche „Rangfolge“ dar, sind jedoch beschreibend und nicht bewertend zu interpretieren: Beispielsweise erfüllten Teilnehmende, die zwei Perspektiven im Modell betrachten die Aufgabenstellung der Studie ebenso wie solche, die drei oder mehr Perspektiven vernetzten.

Typologie identifiziert werden. Auch bei einer reduzierten Anzahl von Kategorien zeigten sich in den Konfigurationen Gruppierungen mit einzelnen oder nur wenigen Fällen (vgl. Kapitel 8.4). Eine Typologie ist somit auf einem Merkmalsraum zu begründen, dessen Achsen nicht zu kleinschrittig skaliert werden (vgl. Kapitel 7.4.2).

## 8 Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse vorgestellt. Die Einordnung des aktuellen Kapitels in den Forschungsprozess ist in Abbildung 8-1 dargestellt.

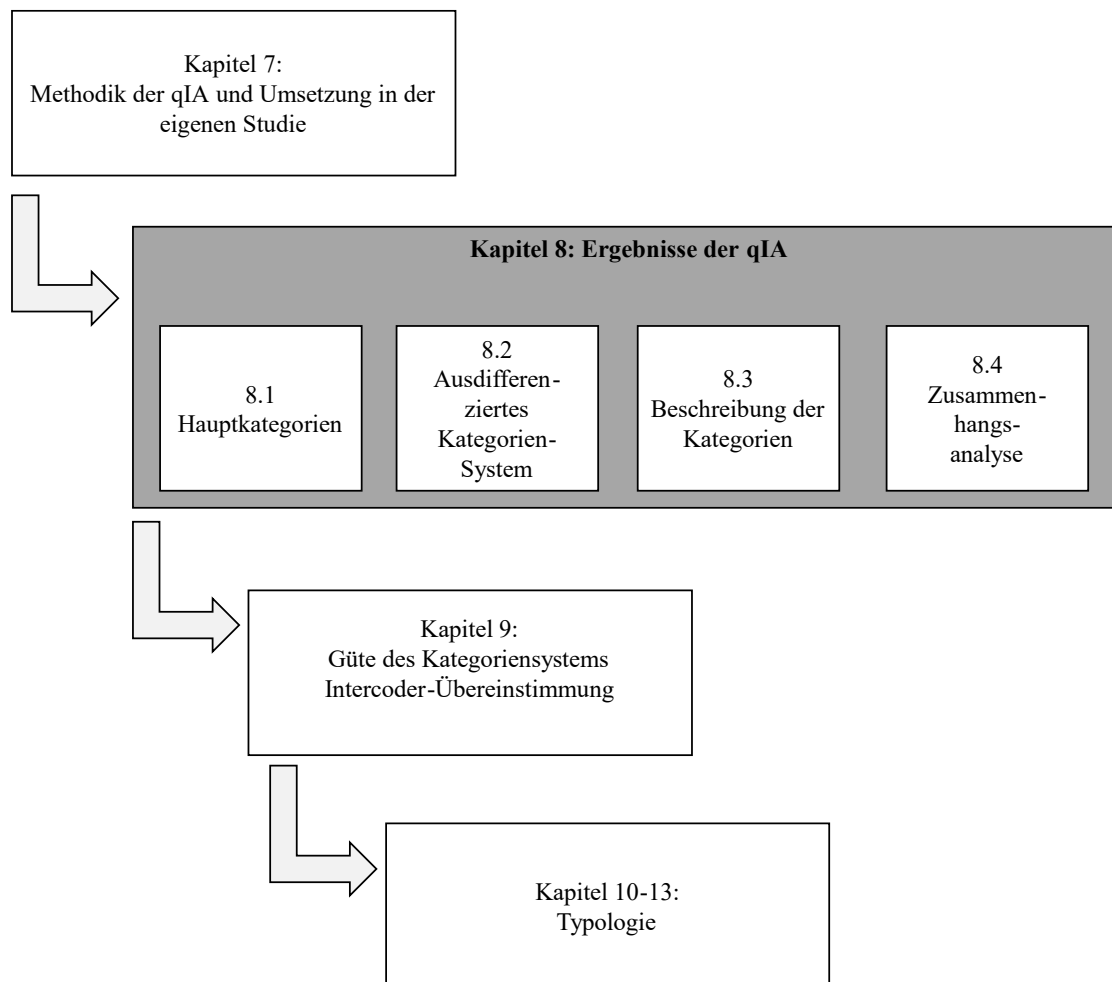


Abbildung 8-1: Einordnung des Kapitels in den Auswertungsprozess (eigene Darstellung).

### 8.1 Darstellung der Hauptkategorien

Das Kategoriensystem zur Beschreibung der Interventionsdaten umfasst sieben Hauptkategorien (vgl. Tabelle 8-1). Für jede Hauptkategorie wurden mehrere Subkategorien abgeleitet, wobei die Ausdifferenzierung textstellenbezogen bzw. fallbezogen erfolgte. Mit den Kategorien kann einerseits die inhaltliche Heterogenität der Daten abgebildet und nach Ähnlichkeiten gruppiert werden. Andererseits liegt mit der beschränkten Anzahl an Hauptkategorien ein handhabbares Kategoriensystem vor, das den Ausgangspunkt für eine Typenbildung darstellt (vgl. Kuckartz 2018, S. 128, Kapitel 7.3).

**Tabelle 8-1: Hauptkategorien der qualitativen Inhaltsanalyse und ihre Charakterisierung.**

Nr.	Bezeichnung der Hauptkategorie	Einordnung	Form der Codierung
1	Perspektiven im Modell	thematische Kategorie	textstellenbezogen
2	Vernetzung von Perspektiven	analytische Kategorie	fallbezogen
3	Erklärung der Modellstruktur	evaluative Kategorie	fallbezogen
4	Aggregationsebene des Modells	evaluative Kategorie	fallbezogen
5	Ursprung der Modellgrößen	thematische Kategorie	fallbezogen
6	Interaktion in der Modellvorstellung	thematische Kategorie	textstellenbezogen
7	benannte Herausforderungen	thematische Kategorie	textstellenbezogen

Einige Hauptkategorien wurden textstellenbezogen codiert. Zu den textstellenbezogenen Kategorien zählen die Hauptkategorie *Perspektiven im Modell* sowie *Interaktion in der Modellvorstellung* und die daraus abgeleitete Kategorie *benannte Herausforderungen*. Während die Subkategorien *Perspektiven im Modell* a priori definiert wurde, wurden die Kategorien *Interaktion in der Modellvorstellung* und *benannte Herausforderungen* am Material entwickelt. Die Ausprägung der Kategorie *benannte Herausforderungen* markieren im Gruppengespräch die Elemente, bei denen Teilnehmende explizit Herausforderungen äußerten und bilden damit eine Ausdifferenzierung der Kategorie *Interaktion*. Von den Interaktionsformen sind die *benannten Herausforderungen* für die weitere Analyse mit Bezug auf die Forschungsfrage am stärksten inhaltstragend, da sich ihre Subkategorien direkt auf Inhalte des vorgestellten Modellierungsprozesses beziehen.

Die Codierung der anderen Hauptkategorien erfolgte fallbezogen: Die Hauptkategorie *Vernetzung von Perspektiven* umfasst als analytische Kategorie eine fallbezogene Zusammenfassung des Ausprägungsmusters der textstellenbezogenen Kategorie *Perspektiven im Modell*.

Neben der ordinalen Einordnung der methodischen Kenntnisse über die evaluative Kategorie *Erklärung der Modellstruktur* beschreiben die Hauptkategorien *Aggregationsebene des Modells* und *Ursprung der Modellgrößen* strukturelle Unterschiede in Modellen bezüglich der Aggregationstiefe des Modells und den Informationsquellen, die zur Modellierung genutzt wurden.



## **8.2 Darstellung des ausdifferenzierten Kategoriensystems**

Die Hauptkategorien wurden ausgehend von den thematischen Summarys von zwölf Fällen (40% der Teilnehmenden) ausdifferenziert. Dabei wurde aus den Studiengruppen PHT16, IDM17, MSE16 und IP17 jeweils eine Teilnehmergruppe berücksichtigt, so dass Personen aus allen vier Studiengängen repräsentiert waren (vgl. Kapitel 6.3, Kuckartz 2018, S. 128). Um eine Verzerrung zu vermeiden, wurden aus der Gruppe des Studiengangs IDM16 keine Fälle ausgewählt.<sup>87</sup> So wurde zudem eine Überrepräsentation der IDM-Teilnehmenden verglichen mit Teilnehmenden aus anderen Studiengängen vermieden. Die thematischen Summarys (vgl. Kuckartz 2018, S. 111) von zwölf Fällen sind in Tabelle 8-2 und Tabelle 8-3 abgebildet.

---

<sup>87</sup> Die Gruppe IDM16 wurde im ersten Codiervorgang intensiv untersucht. Dort beobachtete Ähnlichkeiten der Teilnehmenden, die möglicherweise auf situationsspezifische Zusammenhänge zurückzuführen sind, ließen sich in der Parallelgruppe IDM17, sowie den weiteren Gruppen nicht erkennen (vgl. Kapitel 7.5.2).

**Tabelle 8-2: Fallbezogene thematische Summarys für zwölf Fälle (Teil 1).**

Fall	thematisches Summary
IP17-A372	IP17-A372 startet mit der Frage, wie Biogasanlagen gesellschaftliche Akzeptanz erfahren können. Die knappe Modellvorstellung hat die Wirtschaftlichkeit der Anlagen als Ausgangspunkt. Die im Modell dargestellten Zusammenhänge beziehen sich nicht klar auf die Leitfrage. Informationen aus dem Text werden in unterschiedlicher Aggregationsebene ins Modell integriert. Die Methodik der Wirkungsdiagramme wird fehlerhaft eingesetzt. In der Interaktion bringt sich IP17-A372 zuhörend und moderierend ein.
IP17-A377	IP17-A377 beschäftigt sich mit möglichen Veränderungen der Energieverwertung von Biogasanlagen. Ausgehend von den allgemeinen Nutzungsformen für Bioenergie wird ein detailliertes Modell erstellt, das wirtschaftliche und technologische Aspekte, die vorwiegend aus den Texten stammen, miteinander vernetzt und Rückkopplungen aufzeigt. Der Teilnehmende bringt sich mit inhaltlich und perspektivbewertenden Aussagen ins Gespräch ein und nennt keine expliziten Herausforderungen bei der eigenen Modellierung.
IP17-S376	IP17-S376 stellt eine Wirkungskette vor, welche die Frage nach Arbeitsplätzen im Bereich der Biogasanlagen in der Stadt untersucht. Ein Zusammenhang zu konkurrierenden Arbeitsplätzen zwischen Stadt und Land wird als Hintergrundwissen eingebunden. Es werden keine rückwirkenden Beziehungen identifiziert. Das Themenfeld der Arbeitsplätze, das detailliert abgebildet wird, wird zunächst als gesellschaftlich und in der Besprechung in der Gruppe als sozio-ökonomisch eingestuft. Die Beiträge im Gruppengespräch sind moderierender Art.
PHT16-M113	PHT16-M113 stellt in einer gegenüberstellenden Abbildung aus den Texten erfasste Gesellschafts- und Umweltauswirkungen von Biogasanlagen gegenüber, wobei eine niedrige Aggregationsstufe eingesetzt ist. Die Darstellung umfasst Doppelpfeile, jedoch keine Darstellung von Wirkungsdiagrammen. Es erfolgt keine aktive Beteiligung an der Diskussion weiterer Modelle.
PHT16-N102	PHT16-N102 untersucht eine gesellschaftlich nachhaltige und verträgliche Flächennutzung. Hierbei werden weit über den thematischen Umfang der Studie hinaus Assoziationen notiert, die teilweise Annahmen beinhalten. Die Modellierung erfolgt nicht durch ein Wirkungsdiagramm. Die Modellgrößen aus verschiedenen Aggregationsebenen werden durch Zusammenfassung in Kästen teilweise einer hierarchischen Struktur gegliedert. Bei der Erklärung eines Tortendiagramms beschreibt der Teilnehmer eine (mit dem Diagramm nicht abgebildete) „Dynamik“ in Form der gegenseitigen Abhängigkeit von Nutzungsformen. Im Modell sind alle vier Perspektiven vertreten. Im Gespräch bringt PHT16-N102 sich ausschließlich zum eigenen Modell ein.
IDM17-L956	IDM17-L956 berücksichtigt in der Leitfrage Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit. Beide Perspektiven werden in einem Modell, das aggregierte, vorwiegend textbasierte Größen beinhaltet, über Wirkungsketten dargestellt, wobei technische Aspekte als Eingangsgrößen / externe Größen und der Marktstrompreis als Ausgangsgröße gesehen werden. Die einzelnen Phasen der Modellerstellung sind ausgehend von einer Liste mit Modellgrößen dokumentiert. Es wird aktiv benannt, dass das Modell Wirkungsketten (und keine Rückkopplungen) umfasst. Obgleich das eigene Modell methodisch nicht vollständig ist, bringt sich IDM17-L956 moderierend und durch Fragen in die Gesprächsrunde ein und entwickelt das Verständnis zur Vernetzung von Perspektiven im Gesprächsverlauf weiter.
IDM17-H959	IDM17-H959 beschäftigt sich mit der Nachhaltigkeit nachwachsender Rohstoffe in Bezug auf die „Teller-Tank-Diskussion“. Es wird ein Modell erstellt, dessen Größen fast alle miteinander vernetzt sind, ohne dass Rückkopplungen explizit benannt werden. Die Modellgrößen sind aggregiert gewählt und mit Zugriff auf Allgemeinwissen zusammengefasst. Es werden inhaltliche Fragen zu Modellgrößen in anderen Modellen gestellt.

**Tabelle 8-3: Fallbezogene thematische Summaries für zwölf Fälle (Teil 2).**

Fall	thematisches Summary
IDM17-W696	IDM17-W696 untersucht, ob Versorgungssicherheit mittels Biogasanlagen unter Berücksichtigung der Treibhausgasbilanz möglich ist. Die Modellierung erfolgt ausgehend von Textinformationen und mit Bezug auf Bestandsgrößen und relative Größen. Im Modell sind Rückkopplungen explizit markiert. Die Beiträge sind moderierend.
MSE16-E744	MSE16-E744 entscheidet sich aktiv für eine nicht-technische Perspektive und entwickelt ein Modell, das die wirtschaftliche Attraktivität von Biogasanlagen ohne Förderung durch Subventionen untersucht. Hierbei wird neben Textinformationen auch wirtschaftliches Fachwissen eingebracht. Technologischer Fortschritt wird im Modell als „Motor“ für die Wirtschaftlichkeit gesehen. Somit nimmt insgesamt die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit den Schwerpunkt im Modell ein. Das Modell enthält zahlreiche Rückkopplungen. Der Teilnehmer, der sich aktiv moderierend und andere motivierend ins Gespräch einbringt, leistet inhaltliche und methodische Beiträge zur Diskussion. Er nennt die fehlende Prägnanz von Wirkungsdiagrammen im Vergleich zu bekannten quantitativen Modellierungsmethoden als Herausforderung.
MSE16-H808	MSE16-H808 formuliert ursprünglich die Frage nach technologischer Weiterentwicklung von Biogasanlagen. Im Laufe der Modellierung erkennt er eine Vernetzung von Themenfeldern und erstellt, ausgehend von den Informationen im Text, ein mehrperspektivisches Modell. Dieses umfasst verschiedene Rückkopplungen und stellt technische und ressourcenbezogene Komponenten mit Bezug auf Kosten dar. Das Aggregationsniveau der Modellgrößen, die aus den Texten entnommen sind, ist unterschiedlich. Der Teilnehmer nimmt sein Modell als vorläufig an und beschreibt, dass einzelne Größen weiter zu differenzieren seien. In der Interaktion beteiligt sich MSE16-H808 als aktiver Zuhörer und stellt Bezüge zwischen dem eigenen und anderen Modellen her. Er gibt als inhaltliche Herausforderung an, über Photovoltaik mehr zu wissen als über die Technologie der Biogasanlagen.
MSE16-W122	Mit seiner Leitfrage nach Effizienz und wirtschaftlichem Betrieb von Biogasanlagen untersucht MSE16-W122 eine zweiperspektivische Fragestellung. Neben den inhaltlichen Zusammenhängen zwischen den Modellgrößen, die dem Text entnommen sind, stellt er die Dynamik des Systems ausführlich vor. Die Einordnung der Dynamik sieht er, verglichen mit anderen bekannten Modellierungsformen, als Herausforderung. Er antwortet auf inhaltliche Fragen zum eigenen Modell und beteiligt sich mit inhaltlichen Beiträgen an der Gruppendiskussion.
MSE16-W123	MSE16-W123 betrachtet Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit, sowie Kritik als gesellschaftliche Einflussgröße. Die Perspektiven sind in einem Modell vernetzt, das mit aggregierten Größen erstellt ist. Diese stammen thematisch aus den Texten, sind jedoch in selbst formulierten Modellgrößen zusammengefasst: Beispielsweise ist eine Verhältnisgröße vertreten, die zwei Einzelgrößen in direkten Bezug zueinander setzt. Rückkopplungen sind identifiziert und benannt. MSE16-W123 zweifelt an seinem Modell, dessen hohe Aggregation und thematische Ausrichtung (Schwerpunkt Umwelt statt Wirtschaft) sich von den anderen Modellen der Gruppe unterscheidet. Ansonsten findet keine weitere aktive Beteiligung an der Diskussion statt.

Das ausdifferenzierte Kategoriensystem ist mit seinen ordinalen Codierungen für die zwölf Fälle aus den Tabelle 8-2 und Tabelle 8-3 in Tabelle 8-4 dargestellt.<sup>88</sup> Die Beschreibung der numerisch codierten Subkategorien durch Beispiele folgt in Abschnitt 8.3. Thematische Kategorien wurden in den Dokumenten (Modellabbildungen bzw. Transkripten) codiert und tabellarisch zusammengestellt.

**Tabelle 8-4: Tabellarische Darstellung der Codierungen für zwölf Fälle**

Pseudonym	Vernetzung von Perspektiven	Aggregation	Erklärung der Modellstruktur	nur Text	Text- und Domänenwissen	Text und Allgemeinwissen	aktiver Zuhörer	Interaktion / Moderation	inhaltliche Beiträge	methodische Beiträge	methodische Fragen	inhaltliche Fragen	Probleme des eigenen Modells	keine Beiträge eigenes Modell	inhaltliche Herausforderung	methodische Herausforderung
IDM17-L956	2	+	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1
IDM17-S959	1	-	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IDM17-W696	3+	0	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
IP17-A372	2	0	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1
IP17-A377	2	0	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
IP17-S376	1	-	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
MSE16-E744	1,5	0	3	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1
MSE16-H808	3+	0	3	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
MSE16-W122	2	0	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
MSE16-W123	3+	+	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
PHT16-M113	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
PHT16-N102	3+	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
<p>Die Erklärung der Modellstruktur ist mit den Stufen <b>0</b> bis <b>3</b> codiert.                      Anzahl der Perspektiven: <b>1</b>- eine Perspektive <b>1,5</b>: Haupt- und Nebenperspektive, <b>2</b>: zwei Perspektiven, <b>3+</b>: drei oder mehr Perspektiven.                      Codierung der Aggregation: 0 neutrale Ausprägung, + aggregiertes Modell, - wenig aggregiertes Modell                      Bei thematischen Kategorien ist die Ausprägung von Subkategorien binär dargestellt. 1: codiert, 0: nicht codiert</p>																

<sup>88</sup> Die Codedefinitionen sind in Anhang I.1 zusammengefasst. Die thematischen Codierungen der Perspektiven sind nicht aufgeführt, da ihre Analyse in der Kategorie *Vernetzung von Perspektiven* analytisch zusammengefasst ist.

### 8.3 Beschreibung der Kategorien und Subkategorien

Dieser Abschnitt umfasst die Beschreibung der Hauptkategorien und Subkategorien.

#### 8.3.1 Erklärung der Modellstruktur

Mit der Hauptkategorie *Erklärung der Modellstruktur* wurde eingeordnet, in welcher Form die Studienteilnehmer\*innen dynamische Zusammenhänge im Modell abbildeten und in der Modellvorstellung beschrieben. Es wurden vier Subkategorien erarbeitet, die aufeinander aufbauen und damit evaluative Subkategorien darstellen (vgl. Tabelle 8-5).

*Stufe 0* bezeichnet Modelle, in denen das Konzept der Wirkungsdiagramme nicht eingesetzt wurde. Modelle, bei denen Zusammenhänge in einer linearen Wirkungskette über Relationen verbunden wurden, wurden mit der Subkategorie *Stufe 1* codiert. Bei dieser Ausprägung war bereits ein Verständnis für das Konzept der Relationen erkennbar. *Stufe 2* wurde erreicht, wenn im Modell auch Zusammenhänge eingezeichnet wurden, welche Rückkopplungen umfassten und damit die Rückwirkung einer Modellgröße auf sich selbst abbildeten. Waren die Rückkopplungen auch explizit in ihrer Wirkrichtung markiert, so wurde *Stufe 3* codiert. In Modellen mit dieser Codierung wurden die in der Intervention vermittelten Elemente der Modellierung mit Wirkungsdiagrammen korrekt eingesetzt.<sup>89</sup>

Auch in den Transkripten der Modellvorstellung kann der Modellierungsfortschritt identifiziert werden: Der Einsatz von Relationen (ab *Stufe 1*) äußert sich in der Benennung von je-desto Zusammenhängen im Wortmodell:

So beschrieb IP17-S376 als Vertreter der Stufe 1 die Zusammenhänge im eigenen Modell wie folgt:

*IP17-S376: [...] wenns eben immer mehr gut bezahlte [...] Arbeitsplätze in der Stadt gibt, dann gibts halt eigentlich immer weniger Landwirtschaft. Ähm (..) Aber allerdings wenn du / also wenns, die Landwirtschaft beeinflusst auch die Biogasanlagen. Also gibts weniger Landwirtschaft, gibts weniger Biogasanlagen, wenn mehr Landwirtschaft, gibts mehr Biogasanlagen[...]*  
*Fokusgruppen\Transkript\_IP17\_Gruppe2: 9, Modellgrößen sind unterstrichen dargestellt).*

Das Wortmodell von IP16-S376 bestätigt in diesem Fall die in Tabelle 8-5 dargestellte Einordnung auf Stufe 1, da sie eine korrekte Beschreibung von Relationen umfasst. Es wurden jedoch keine Rückkopplungen identifiziert.

---

<sup>89</sup> Angesichts eines seltenen Einsatzes wurde auf die explizite Einordnung von Verzögerungssymbolen verzichtet.

**Tabelle 8-5: Codedefinitionen und Modellbeispiele zur Kategorie *Beschreibung der Modellstruktur***

Subkategorie	Codebeschreibung	Fallbeispiel	Modellbeispiel
Stufe 0: kein Wirkungsdiagramm	Interventionsmodelle, bei denen keine korrekte Wirkungsdiagramm-Notation eingesetzt wurden	IP17-A379	
Stufe 1: Wirkungsketten	Interventionsmodelle, die Wirkungsketten mit Relationspfeilen enthalten, jedoch keine Rückkopplungen umfassen	IP17-S376	
Stufe 2: Rückkopplung ohne Bezeichnung	Interventionsmodelle, die eine oder mehrere Rückkopplungen enthalten, ohne dass diese in der Darstellung markiert oder in der Modellvorstellung erwähnt sind	IDM17-M985	
Stufe 3: Rückkopplung mit Bezeichnung	Interventionsmodelle, die eine oder mehrere Rückkopplungen enthalten, von denen mindestens eine explizit markiert bzw. beschrieben wird	MSE16-W123	

Manche Teilnehmende, wie IDM16-W041, benannten Polaritäten von Rückkopplungen erst in der Modellvorstellung (vgl. Hervorhebung in Tabelle 8-6). Hier erfolgte eine Codierung mit Stufe 3, obwohl die Polarität nicht explizit im Modell dargestellt war, da aus dem Kontext der Modellvorstellung erkennbar war, dass der Teilnehmende den Umgang mit Polaritäten im Gesprächskontext beherrschte.

**Tabelle 8-6: Codierung der Subkategorie Stufe 3: Rückkopplung mit Benennung bei IDM16-W041.**

<p>Das Diagramm zeigt einen selbstverstärkenden Kreis (Loop) mit folgenden Komponenten und Beziehungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Förderungen</b> (oben links) → <b>Fördervolumina</b> (oben rechts) mit einem Pluszeichen (+).</li> <li><b>Fördervolumina</b> → <b>Anz. Anlagen</b> (Mitte rechts) mit einem Pluszeichen (+).</li> <li><b>Anz. Anlagen</b> → <b>Forschung</b> (Mitte rechts) mit einem Pluszeichen (+).</li> <li><b>Forschung</b> → <b>Techn. Innovationen/ Lernkurve</b> (unten rechts) mit einem Pluszeichen (+).</li> <li><b>Techn. Innovationen/ Lernkurve</b> → <b>Wirtschaftlichkeit</b> (Mitte links) mit einem Pluszeichen (+).</li> <li><b>Wirtschaftlichkeit</b> → <b>Förderungen</b> mit einem Pluszeichen (+).</li> <li><b>Wirtschaftlichkeit</b> → <b>Ölpreis/ Peak-Oil</b> (unten links) mit einem Minuszeichen (-).</li> <li><b>Ölpreis/ Peak-Oil</b> → <b>Wirtschaftlichkeit</b> mit einem Pluszeichen (+).</li> <li><b>Wirtschaftlichkeit</b> → <b>Zukunfts Märkte</b> (unten) mit einem Pluszeichen (+).</li> <li><b>Zukunfts Märkte</b> → <b>Wirtschaftlichkeit</b> mit einem Pluszeichen (+).</li> <li><b>Weitere Stakeholderanforderungen</b> (unten links) → <b>Wirtschaftlichkeit</b> mit einem Pluszeichen (+).</li> </ul>	<p>IDM16-W041: [...] Der äh <u>nächste Loop</u> ist dann, angenommen wir haben die <u>Wirtschaftlichkeit</u> gegeben, das heißt die <u>Fördermengen</u> sind groß genug, dass aktuell die <u>Anlagen wirtschaftlich</u> betrieben werden können und hier wie gesagt die <u>Anlagen steigen</u>, mit äh.. erhöhten Investitionsvolumen mit Anlagen wird auch das <u>Investitionsvolumen in Forschung steigen</u>, das heißt durch Forschung ähm bekommt man neue <u>technische Investitionen</u> neue Erkenntnisse, das heißt sprich wir <u>haben ne steigende Lernkurve</u> was sich wiederum wieder positiv auf die <u>Wirtschaftlichkeit</u> auswirkt. Das heißt hier haben wir dann nen <u>selbstverstärkenden Kreis</u>, je mehr wirtschaftlich das wird, desto mehr hab ich Forschung desto wirtschaftlicher wird das Ganze. ganz grob. (Fokusgruppen\ IDM16_Gruppe1_Fokus: 74-75)</p>
---	---

Andererseits konnten über Wortmodelle auch Fehlkonzepte aufgezeigt werden: Nicht jeder je-desto-Zusammenhang im Wortmodell oder jede +/- Bezeichnung im Modell kann als Relation codiert werden: So nutzte PHT16-B114 im Modell Markierungen mit + für eine inhaltliche Bewertung, wie das Wortmodell in Tabelle 8-7 oben aufzeigt. Zudem wurden im Modell anstelle von Substantiven als Modellgrößen teilweise erklärende Texte formuliert. Es erfolgte daher auf Fallebene eine Codierung mit *Stufe 0*.

Ähnlich wurde auch die Identifikation von Rückkopplungen nur dann als *Stufe 2* oder höher gewertet, wenn im Modell tatsächlich Rückkopplungen dargestellt wurden: Tabelle 8-7 unten zeigt das Modell von IDM17-S960, das über Relationspfeile linear vernetzte Zusammenhänge zwischen der Eingangsgröße *Bevölkerung* und der Ausgangsgröße *Entstehung von CO2* darstellt. Obgleich kein Rückkopplungskreis zwischen den Modellgrößen vorhanden ist, beschrieb IDM17-S960 den Zusammenhang irrtümlicherweise als „Kreis“. Hier erfolgte eine Codierung mit der Ausprägung *Stufe 1*.

**Tabelle 8-7: Beispiele für fehlerhaften oder unvollständigen Einsatz von Modellierungskonzepten in der Modellvorstellung.**

<p>Ausschnitt des Modells von PHT16-B114 (Stufe 0)</p>	<p>PHT16-B114: [...] Genau, dann haben wir hier <b>positiv</b> bei gleicher <u>Anlagengröße</u> gibt es mehr <u>Energieerzeugung</u>. <b>Das war dann gut</b>, da gabs dann massiven <u>Ausbau</u> von Biogasanlagen, eben wiederum über die <u>EEG-Förderung</u> [...] (PHT16_Modelle_G1_1, Pos. 18)</p>
<p>Modell IDM17-S960 (Stufe 1)</p>	<p>IDM17-S960: [...] Also generell ist es so wenn die <u>Bevölkerung</u> steigt, dann entstehen halt durchs Atmen auch mehr <u>CO2</u>, ähm. das <u>Umweltbewusstsein</u> steigt, wenn die <u>Bevölkerung</u> steigt. ähm aus dem Grund, weil eben ähm. ja man muss gut mit seiner Umwelt umgehen. Ähm wenn das <u>Umweltbewusstsein</u> steigt, dann steigt auch <u>Wälder oder Bäume</u> IDM17-H680: Mhm. IDM17-S960: und das führt ja dazu, dass <u>CO2</u> sinkt // IDM17-H680: // Ja. IDM17-S960: also dass die Entstehung sinkt. Das war mal der eine <b>Kreis</b> [...](IDM17 Gp3 teil1, Pos. 4-8)</p>

*Häufigkeit der Subkategorien*

Abbildung 8-2 stellt die Häufigkeit der Ausprägungen der Subkategorien zur Hauptkategorie *Erklärung der Modellstruktur* geordnet nach Studiengangsgruppe und Vorkenntnissen in der Modellbildung dar.

Mit Ausnahme von vier Personen (*Stufe 0*) setzten alle Teilnehmenden das Konzept der Wirkungsketten oder Wirkungsdiagramme in der Intervention ein. Die Personen, die keine Wirkungsdiagramme nutzten, verfügten in keinem Fall über Vorerfahrung in der verhaltensklärenden Modellierung (vgl. Abbildung 8-2, rechts).

Die Ausprägung *Stufe 1* trat bei allen Studiengangsgruppen außer MSE16 auf. Dieses Muster ist insofern erklärbar, als Studierende des Systems Engineering mit einem Studienschwerpunkt in der Regelungstechnik mit der Identifikation von Rückkopplungen in technischen Systemen vertraut sein sollten.



Das Auftreten der Ausprägung *Stufe 1* bei einzelnen Fällen der Studiengänge IDM16 und IDM17 wiederum deutet an, dass ein quantitativ-modellierendes Hintergrundwissen und erste Erfahrung in der Stock-Flow-Modellierung, über das die Teilnehmer\*innen dieses Studiengangs verfügten, nicht unbedingt dazu führten, dass Rückkopplungen erkannt und in der neuen Situation eingesetzt wurden. Diese Erkenntnis ist konsistent mit den Erfahrungen aus verschiedenen Studien, die hervorheben, dass „feedback thought“ (vgl. Richardson 1992, Kapitel 4.3) nicht intuitiv ist.

Ausprägungen der *Stufe 2* und *Stufe 3* wurden in allen Studiengangsgruppen außer bei PHT16 codiert. Dies weist darauf hin, dass ein Erkennen und Darstellen von Rückkopplungen mit unterschiedlichem Vorwissen möglich ist: Eine Mehrheit von 21 der 30 Fälle erreichte Stufe 2 oder 3 in der Bewertung der Modellstruktur.

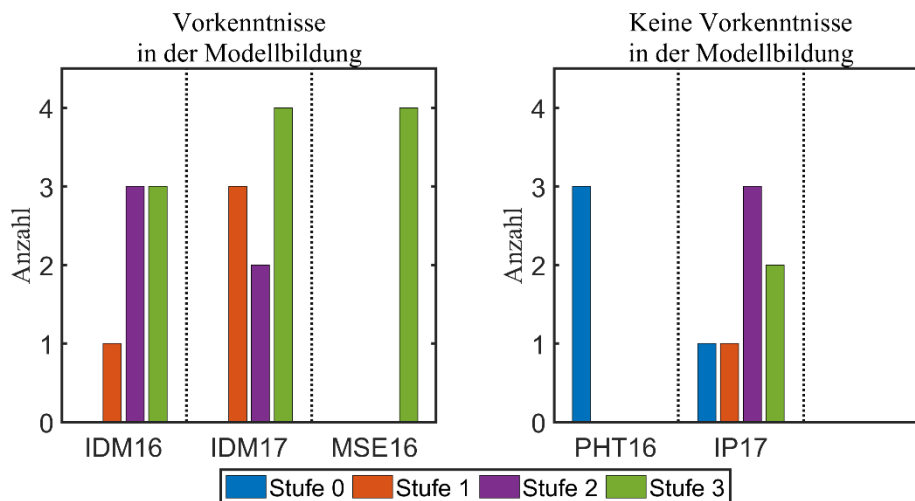


Abbildung 8-2: Häufigkeit der Codierung der Kategorie *Modellierungskennntnisse* nach Studierendengruppe.

### 8.3.2 Perspektiven im Modell

Die Kategorie *Perspektiven im Modell* stellt eine thematische Kategorie dar, deren Ausprägungen a priori aus dem Design der Intervention abgeleitet wurde. Sie bildet die vier Themenfelder ab, über die sich die Studienteilnehmenden am ersten Termin anhand von bereitgestellten Dokumenten informieren konnten.<sup>90</sup>

Die textstellenbezogene Codierung ist in Tabelle 8-8 auf Dokumentebene für die zwölf Fälle, mit denen das Kategoriensystem entwickelt wurde, zusammengefasst.

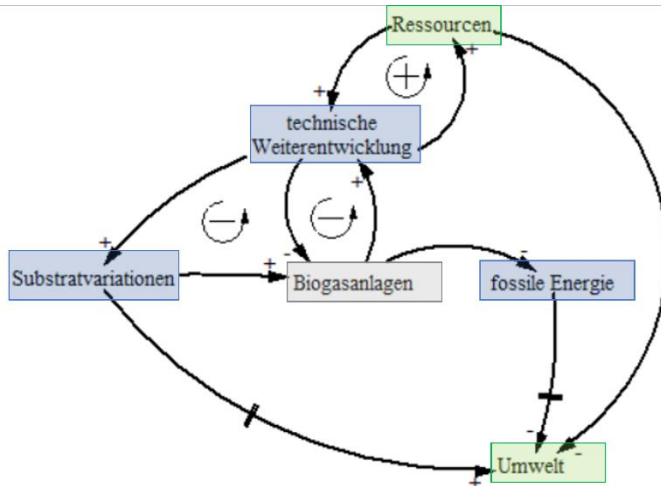
**Tabelle 8-8: Codierung der thematischen Kategorien Perspektiven im Modell für zwölf Fälle.**

Legende: G – Gesellschaft, U – Umwelt, T – Technik, W – Wirtschaft, Codierung 1: mindestens eine textstellenbezogene Codierung vorhanden, Codierung 0: keine textstellenbezogene Codierung vorhanden

Fallbezeichnung		Modelle				Modellvorstellung				unklare Zuordnung
Pseudonym	Gruppe	G	U	T	W	G	U	T	W	
IDM17-L956	IDM17	0	0	1	1	0	0	1	1	1
IDM17-S959	IDM17	0	1	0	1	0	1	0	1	0
IDM17-W696	IDM17	0	1	1	1	0	1	1	1	1
IP17-A372	IP17	1	0	0	1	1	0	1	1	1
IP17-A377	IP17	0	0	1	1	0	0	1	1	1
IP17-S376	IP17	1	0	0	0	1	1	0	1	1
MSE16-E744	MSE16	1	0	1	1	0	0	1	1	1
MSE16-H808	MSE16	0	1	1	1	1	1	1	1	0
MSE16-W122	MSE16	0	0	1	1	0	1	1	1	1
MSE16-W123	MSE16	1	1	1	0	1	1	1	1	0
PHT16-M113	PHT16	1	1	0	0	1	1	0	0	1
PHT16-N102	PHT16	1	1	1	1	1	1	1	1	0

In Abbildung 8-3 sind exemplarisch die Codierung der Perspektiven im Modell und einem Ausschnitt des Transkripts der Modellvorstellung von IDM17-H680 abgebildet. Die Farbdarstellung bezieht sich dabei auf die farbige Codierung von Perspektiven (vgl. Tabelle 7-1). In der Codierung des Transkripts symbolisiert eine türkisfarbene Markierung die Doppelcodierung mit den Kategorien Umwelt (grün) und Technik (blau).

<sup>90</sup> Einige Dokumente sind in Anhang A.6 dargestellt.



IDM17-H680:[...] Meine Frage war, Wie können Biogasanlagen effizienter genutzt werden, um Ressourcen sparen zu können unter der Berücksichtigung technischer und umweltbezogener Aspekte.#00:08:17# Also, angefangen hab ich mit den Biogasanlagen. Dann hab ich die technische Weiterentwicklung neben/ wegen technischer Aspekte. Ähm die Substratnutzung, die du ja vorher schon angesprochen hast, eben die Energie, die da produziert wird. Dann noch fossile Energie, Umwelt und Ressourcen, und, aber wenn ichs erklär, dann ist es vielleicht ein bisschen / also.#00:08:40# Wenn ich Biogasanlagen hab, mach ich ja technische Weiterentwicklung, damit die effizienter sind.

IDM17-S960: Mh.

IDM17-H680: und einfach die Substrate auch effizient nutzen(?). Das bedeutet je mehr Biogasanlagen ich hab, um so mehr technische Weiterentwicklung brauche ich#00:08:53#

IDM17-S960: Mh.

IDM17-H680: Je mehr technische Bio/ äh Weiterentwicklung ich hab jedoch, desto weniger Biogasanlagen brauch ich ja, weil sie dann effizienter sind. (Ja, dann?) brauch ich auch nicht so viele. Wenn ich dann auch technische Weiterentwicklung hab, desto weniger Substrate brauch ich, also je mehr ich davon hab, desto weniger Substrate brauch ich beziehungsweise kann auch ne Variation nehmen. Das bedeutet wieder mehr Energie.[...](IDM17\_Gp3\_teil1, Pos. 46-50)

Abbildung 8-3: Codierung von Modell und Modellvorstellung bei IDM17-H680.

Mit dem Subcode *unklare Zuordnung vorhanden* wurden Elemente markiert, deren thematische Zuordnung nicht oder wegen inhaltlichen Bezugs zu verschiedenen Perspektiven nicht eindeutig einer Perspektive zuzuordnen waren. Einige Codierungsbeispiele hierzu sind in Tabelle 8-9 abgebildet.

Eine Modellgröße kann gleichzeitig aus Sicht der Codierenden in zwei oder mehr Perspektiven einzuordnen sein (vgl. Tabelle 8-9 oben). Bei allgemeinen Begriffen kann mangels Kontext eine Zuordnung unmöglich sein (vgl. Tabelle 8-9 unten).

Uneindeutige Codierungen dieser Art sind für die Untersuchung von Mehrperspektivität interessant. Daher diente die Subkategorie *unklare Zuordnung vorhanden* für Modellgrößen auch als Marker, der für die weitere Analyse eine genauere Untersuchung der vertretenen Perspektiven auf Fallebene indizierte. Hierzu wurde die analytische Kategorie *Vernetzung von Perspektiven* eingeführt, die auf Fallebene codiert wurde.

**Tabelle 8-9: Beispiele für Codierung unklare Zuordnung von Perspektiven mit Erläuterung.**



Ausprägungsform	Fallbeispiel	Modellbeispiel	Memo zur Codierung
Mehrfachcodierung bei aggregierter Modellgröße	IDM17-H680		Biogasanlagen, Substrate und fossile Energien werden im Kontext von Technik und Umwelt betrachtet. Eine klare Zuordnung zu einer der beiden Perspektiven scheint nicht möglich.
unspezifische Modellgröße	PHT16-B114 (Ausschnitt)		Die Modellgröße Zukunft ist so allgemein bzw. unspezifisch formuliert, dass keine Zuordnung zu einer Perspektive möglich ist.

### 8.3.3 Vernetzung von Perspektiven

Die Kategorie *Vernetzung von Perspektiven* fasst die Codierungen der Perspektiven fallbezogen zusammen. Somit stellt die Kategorie einen Analyseschritt für die Forschungsfrage dar, um den Beitrag der Systemmodellierung zur Mehrperspektivität zu untersuchen.

Mehrperspektivische Modellierung von Systemen drückt sich durch die Präsenz von mehreren Perspektiven im Modell und Wechselwirkungen zwischen jenen Perspektiven aus. Die Bewertung der Wechselwirkungen erfolgte durch eine Gesamtschau der Interventionsdokumente eines Falls unter Berücksichtigung thematischer Codierungen. Die Ausprägungsformen der Kategorie *Vernetzung von Perspektiven* sind in Tabelle 8-10 und Tabelle 8-11 dargestellt.

**Tabelle 8-10: Codierung mit der Kategorie Vernetzung von Perspektiven in Modellen und Modellvorstellungen (Teil 1).**



Sub- kat.	Codierung im Modell	Codierung im Transkript
eine Perspektive	<p>IDM17-S959</p>	<p>IDM17-S959: Da hab ich mir erst mal ursprünglich rausgeschrieben ähm welche Kostenpunkte die Selbstbebauung oder die Stromgestehungskosten überhaupt beeinflussen. Das wär einmal der Zukauf von den Energiepflanzen, die Kosten für den Anbau, die Kosten für die Ernte, Kosten für den Transport und die Kosten für die Lagerung. Dann gibts da zwei Kreise in dem Modell. Einmal den Selbstbebauungskreis mehr oder weniger und den Kreislauf für den ähm Zukauf von Energiepflanzen.                  ...](Fokusgruppen\IDM17_Gp2_tuer: 13 - 14)</p>
Haupt- und Nebenperspektive	<p>IDM16-S978</p>	<p>IDM16-S978:[...] je nachdem wenn der Staat hier, ähm, Subventionen dann ausgibt, dann verbreitet sich diese Energieform dann natürlich stärker ja, wird dann aber auch hier beeinflusst von diesen anderen Energieformen, also hier gibt es immer so ne Rückkopplung. Das heißt die (.) anderen alternativen Energien wirken auf die Biogasanlage, also wenn die hier steigen dann sinkt natürlich die Anzahl der Biogasanlagen, und wenn die Bio/ Anzahl der Biogasanlagen steigt, dann sinkt die Anzahl der anderen Energieformen[...]Und dann aber (.) sobald irgendwas steigt, steigt natürlich auch das Investitionsvolumen. Und wenn das Investitionsvolumen steigt, steigt natürlich auch die Forschungsintensität (.) ähm dann erhöht sich die Wirtschaftlichkeit der Anlagen und dann verbreiten sich auch die Anlagen dann natürlich immer stärker. Und wenn sie die Anlagen stärken dann hat das wieder Rückwirkung auf die Subventionen. Dann werden die gekürzt, so. Und das ist eigentlich so mein Kreislauf. (IDM16_Gruppe1_Fokus, Pos. 2-4)</p>

**Tabelle 8-11: Codierung mit der Kategorie *Vernetzung von Perspektiven in Modellen und Modellvorstellungen (Teil 2).***



Sub- kat.	Codierung im Modell	Codierung im Transkript
zwei Perspektiven	<p>IDM17-H680</p>	<p>IDM17-H680: [...] Wenn ich Biogasanlagen hab, mach ich ja technische Weiterentwicklung, damit die effizienter sind. [...] und einfach die Substrate auch effizient nutzen(?). Das bedeutet je mehr Biogasanlagen ich hab, um so mehr technische Weiterentwicklung brauche ich [...]. Je mehr technische Bio/ äh Weiterentwicklung ich hab jedoch, desto weniger Biogasanlagen brauch ich ja, weil sie dann effizienter sind. (Ja, dann?) brauch ich auch nicht so viele. Wenn ich dann auch technische Weiterentwicklung hab, desto weniger Substrate brauch ich, also je mehr ich davon hab, desto weniger Substrate brauch ich beziehungsweise kann auch ne Variation nehmen. Das bedeutet wieder mehr Energie. [...] Und ähm wenn ich aber weniger fossile Energien hab, dann hab ich eben mehr Ressourcen zur Verfügung. #00:09:54# Und ich hab noch eben zeitverzögert rein? wenn ich verschiedenste Substrate beziehungsweise weniger Substrate brauch für die Biogasanlagen, dann wirkt sich das positiv auf die Umwelt, aber natürlich nicht sofort aus (IDM17_Gp3_teil1, Pos. 46-52)</p>
drei oder mehr Perspektiven	<p>MSE16-H808</p>	<p>MSE16-H808: Deswegen dachte ich dass ich eigentlich einfach von der Technologie aus ausgehe. Die hat jetzt im Endeffekt ihren Platz hier bekommen. Aber irgendwie ist es dann doch wesentlich wirtschaftlicher geworden als ich dachte, deswegen (hab ich jetzt überall?) Kosten (lachend) und man sieht, dass alles irgendwie in die Kosten reinfließt. [...] Was mir aufgefallen ist als ich äh die Texte durchgelesen hab, gabs ja sozusagen einmal die Option, dass man Abfallstoffe benutzt oder eben Energiepflanzen, wie das genannt wurde, also Pflanzen, die extra dafür gerodet werden oder extra dafür angebaut werden. #00:29:25# Deswegen hab ich hier rechts so nen Kasten gemacht mit Alternativen. Also man könnte theoretisch wenn der Rohstoffbedarf steigt, kann ich entweder sozusagen die Abfallstoffe verwenden. Dadurch sinken die Kosten, aber die Effizienz sinkt auch. [...] #00:29:44# (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 38)</p>

Die in Tabelle 8-10 und Tabelle 8-11 und dargestellten Codierungsbeispiele zeigen, wie unterschiedlich Perspektiven vernetzt wurden. Im Folgenden werden an Fallbeispielen Ausprägungen der verschiedenen Subkategorien beschrieben.

### 8.3.3.1 Subkategorie: Eine Perspektive

Die Subkategorie *Eine Perspektive* beschreibt Modelle, in denen nur ein Themenfeld betrachtet wurde. IDM17-S959 fokussierte beispielsweise innerhalb des Modells vollständig auf die Betrachtung von Kosten. Bereits bei der Wahl der Leitfrage erfolgte eine Eingrenzung auf die Stromgestehungskosten:

*IDM17-S959: [...] Meine Themenschwerpunkte waren auch Klima und Umwelt- und Ressourcenschutz und Wirtschaft und Marktentwicklung. Meine Leitfrage lautet: Wie können die Stromgestehungskosten von Biogasanlagen für nachwachsende Rohstoffe reduziert werden?#00:05:26# (Fokusgruppen\IDM17\_Gp2\_tuer: 13)*

Den Modellierungsprozess beschrieb IDM17-S959 wie folgt:

*IDM17-S959: „[...] rausgeschrieben [...] welche Kostenpunkte die Selbstbebauung oder die Stromgestehungskosten überhaupt beeinflussen. [...]“ (IDM17\_Gp1\_fenster: Pos. 13)*

Die zugehörige Prozesskette des Substratanbaus und daraus resultierende Kosten sind in Tabelle 8-10, Zeile 1 abgebildet aufgeschlüsselt. Das gesamte Modell wurde somit mit Blick auf eine einzige, hier wirtschaftliche, Perspektive erstellt. Die zweite Themenfeld Umwelt, das ursprünglich ausgewählt worden war, wurde nicht weiter berücksichtigt.

### 8.3.3.2 Subkategorie: Haupt- und Nebenperspektive

Die Codierung mit *Haupt- und Nebenperspektive* erfolgte, wenn eine ursprünglich mehrperspektivische Fragestellung auf eine Hauptperspektive fokussiert wurde und erkennbar war, dass aus einer thematischen Unterordnung der zweiten Perspektive zu einer Hauptperspektive stattfand. Die Codierung mit dieser Ausprägung wurde dann gewählt, wenn die unterschiedliche Gewichtung zweier Perspektiven erkennbar waren und für die Hauptperspektive ein individueller Fachbezug erkennbar war.<sup>91</sup>

IDM16-S978 (Tabelle 8-10, Zeile 2) beschrieb wirtschaftliche Zusammenhänge im Modell ausführlich. Die verschiedenen Kraftwerkstypen wurden dabei als Produktionsanlagen gegenübergestellt. Die technologiebezogene Größe der Forschungsintensität wurde im Modell räumlich zentral verankert und in ihrem unmittelbaren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit dargestellt:

*IDM16-S978: Und dann aber (.) sobald irgendwas steigt, steigt natürlich auch das Investitionsvolumen. Und wenn das Investitionsvolumen steigt, steigt natürlich auch die Forschungsintensität (.) ähm dann erhöht sich die Wirtschaftlichkeit der Anlagen und dann verbreiten sich auch die Anlagen dann natürlich immer stärker. (IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 4)*

Insgesamt wurde Technologie hier als eine wirtschaftsfördernde Komponente betrachtet, die in ihrer Wechselwirkung mit wirtschaftlichen Größen dargestellt wurde.

---

<sup>91</sup> Dieses Kriterium wurde eingeführt, um die Ausprägung Haupt- und Nebenperspektive von der Ausprägung zwei Perspektiven zu unterscheiden. Diese Unterscheidung schien nötig, da angesichts der unterschiedlichen Aggregationsebenen der Modelle ein quantitativer Vergleich von Perspektiv-Codierungen keine geeignete Entscheidungsgrundlage für die Einordnung der Anzahl von Perspektiven darstellte.

Dieser Blickwinkel im Modell ist in engem Zusammenhang mit der wirtschaftlich geprägten fachlichen Vorerfahrung des Masterstudierenden erklärbar.

#### 8.3.3.3 Subkategorie: Zwei Perspektiven

Die Codierung mit der Kategorie *zwei Perspektiven* erfolgte dann, wenn zur Beantwortung einer mehrperspektivischen Frage zwei Perspektiven berücksichtigt und in ähnlichem Umfang in das Modell eingebracht wurden. Eine Vernetzung von Modellgrößen, die mit verschiedenen Perspektivcodes codiert wurden, ist dabei charakteristisch. Im dargestellten Beispiel (Tabelle 8-11, Zeile 1) beinhaltet die Formulierung der Leitfrage zwei Themenfelder:

*IDM17-H680: [...] Meine Frage war. Wie können Biogasanlagen effizienter genutzt werden, um Ressourcen sparen zu können unter der Berücksichtigung technischer und umweltbezogener Aspekte (IDM17\_Gp3\_teil1, Pos. 46)*

Die konsistente und bewusste Arbeit mit diesen zwei Perspektiven wurde von IDM17-H680 selbst Ende der Modellvorstellung resümiert:

*IDM17-H680: Also ich hab wie gesagt Technik und Umwelt. Technik doch irgendwie Entwicklung von Biogasanlagen und Umwelt halt durch das dass ich die Biogasanlagen (unv.) verbessert wird. Aber die anderen drei / anderen zwei hab ich gar nicht. Also.*

*IDM17-S960: Ja also //*

*IDM17-H680: //Von Anfang an auch nicht. Genau, so*

*IDM17-S960: Du wolltest es ja auch nicht.*

*IDM17-H680: Genau. #00:29.55# (IDM17\_Gp3\_teil1, Pos. 61-65)*

#### 8.3.3.4 Subkategorie: Drei oder mehr Perspektiven

Die Codierung mit der Subkategorie *Drei oder mehr Perspektiven* wurde durchgeführt, wenn mehr als zwei Perspektiven im Modell berücksichtigt wurden. Ein Beispiel hierfür bildet das Modell von MSE16-H808 (vgl. Tabelle 8-10 unten): Ausgehend von einer mehrperspektivisch formulierten Leitfrage wurden technische, wirtschaftliche und umweltbezogene Aspekte vernetzt.

*MSE61-H808: Ich hatte mir sozusagen die Frage gestellt, wie man also von technologischer Seite äh, wie man sozusagen die Kraft / [...] ja genau wie ich die Biogasanlage unter technologischen Gesichtspunkten steigern ähm kann, also dass sie in der Anzahl gesteigert wird und natürlich unter Gesichtspunkten der Wirtschaftlichkeit und der Umwelt.#00:27:55#*

In der Entwicklung des Modells wurde die wirtschaftliche Komponente *Kosten* zentral als aggregierte Größe erfasst, während technologische Zusammenhänge detaillierter dargestellt wurden. Substrate wurden als Rohstoffe in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Effizienz kontextualisiert und Substratalternativen mit ihrem unterschiedlichen Ressourcenbedarf als Einsatzstoffe mit Umweltwirkung erkannt.



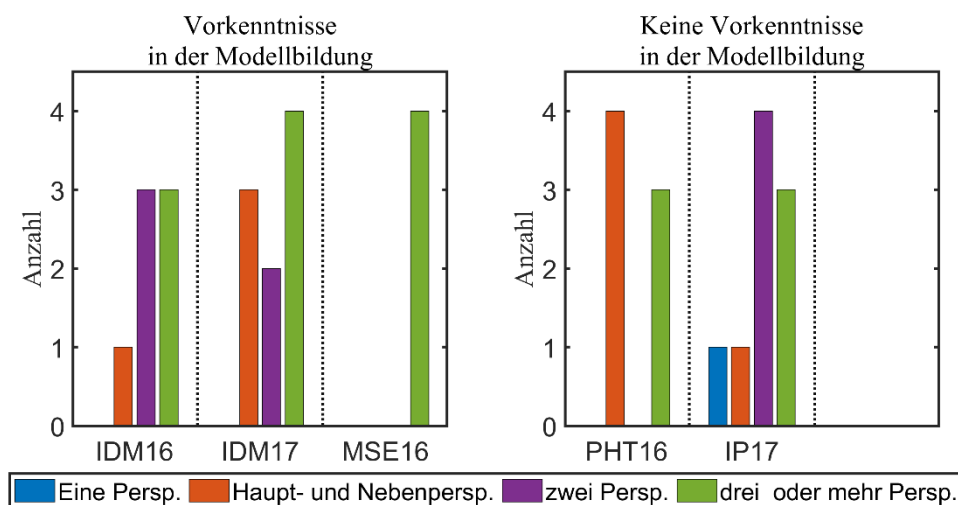
### 8.3.3.5 Häufigkeit der Subkategorien zur Hauptkategorie *Vernetzung von Perspektiven*

Abbildung 8-4 stellt die Häufigkeit der Ausprägungen der Subkategorien zur Hauptkategorie *Vernetzung von Perspektiven* geordnet nach Studiengangsgruppen und Vorkenntnissen in der Modellbildung dar.

Mehr als drei Viertel der Teilnehmenden (23 von 30 Fällen) berücksichtigten in der Modellierung mindestens zwei Perspektiven und präsentierten damit einen mehrperspektivischen Lösungsansatz zur Beantwortung ihre Leitfrage.

Die Ausprägung *eine Perspektive* kam bei zwei Personen aus unterschiedlichen Studiengängen vor. Die Subkategorie *Haupt- und Nebelperspektive* wurde mit vier von fünf Fällen in der Gruppe IDM16 codiert.<sup>92</sup>

Drei Viertel der Modelle umfassen Modellgrößen, bei denen die Subkategorie *unklare Zuordnung vorhanden* codiert wurde. Diese Unschärfe in der Codierung von Perspektiven in den Modellen wurde in der analytischen Kategorie *Vernetzung von Perspektiven* über den Kontext der Modellvorstellung aufgehoben: Zwar blieb die Zuordnung einzelner Modellgrößen bei Modellen mit mehreren Perspektiven teilweise unsicher, z.B. wenn in kurz gehaltenen Redebeiträgen die Zusammenhänge zwischen Modellgrößen nur knapp erläutert wurden.



**Abbildung 8-4: Häufigkeit der Subkategorien zur Hauptkategorie *Vernetzung von Perspektiven* nach Studiengangsgruppen und Modellierungsvorkenntnissen.**

<sup>92</sup> Auf die außergewöhnlich homogene Ausprägung der Gruppe IDM16 und die Konsequenzen für die Entwicklung des Kategoriensystems wurde in Kapitel 7.5 hingewiesen.

Im Kontext des Gesamtmodells konnte jedoch die Ausprägung der Perspektivvernetzung als ein Maß für Mehrperspektivität codiert werden. Situationsspezifische Hintergründe, wie unterschiedlich lange Redebeiträge oder die unterschiedliche Verfügbarkeit von Daten zu fachlichen Vorkenntnissen (die für Technik und Wirtschaft ausgeprägter vorlagen als für Umwelt und Gesellschaft), erschwerten teilweise die Unterscheidung zwischen *zwei Perspektiven* oder *drei oder mehr Perspektiven* im Modell, so dass für die Typenbildung eine Zusammenfassung dieser Subkategorien durchgeführt wurde (vgl. Kapitel 11.1.2).

#### 8.3.4 *Ursprung der Modellgrößen*

Die Aufgabe, aus den Textinformationen eines Wortmodells zu einer Frage eine Darstellung zu erzeugen, war allen Teilnehmenden aus dem Pretest vertraut. Anders als im Pretest wurden in der Intervention jedoch Textinformationen zu vier Themenfeldern bereitgestellt, aus denen die Teilnehmenden auswählen mussten, um daraus eine selbst zu formulierende Frage zu entwickeln. Im Gegensatz zum Pretest war hier also eine komplexere Ausgangssituation gegeben, die eine Auswahl von Informationen und, je nach Formulierung der eigenen Frage, auch den Umgang mit unvollständigen Informationen erforderte. Die Hauptkategorie *Ursprung der Modellgrößen* bildet dies ab. Hier konnten drei Vorgehensmuster identifiziert werden: Während einige Teilnehmende in der Intervention ausschließlich an Textinformationen arbeiteten, ergänzten andere die Informationen aus Texten durch domänenspezifisches Hintergrundwissen in der Modellierung. Dies war insbesondere dann zu beobachten, wenn eine Frage formuliert worden war, die im Bezug zur eigenen fachlichen Vorerfahrung stand. Eine dritte Strategie bildete das Einbinden von Allgemeinwissen bzw. das Formulieren von Vermutungen, um Zusammenhänge darzustellen, die nicht vorab erkennbar oder dem Text entnehmbar waren.

Die Hauptkategorie *Ursprung der Modellgrößen* wurde somit in die Subkategorien *Text*, *Text und Domänenwissen*, sowie *Text und Allgemeinwissen* ausdifferenziert, die auf Fallebene codiert wurden. Im Folgenden sind Beispiele für die drei Subkategorien dargestellt.

##### 8.3.4.1 *Subkategorie: Text*

Die Codierung *Text* erfolgte, wenn, in den Modellen denen Modellgrößen und Zusammenhänge dem Text entnommen wurden.

Besonders deutlich zeigte sich der Bezug zu den Informationstexten bei Personen, die explizit die Verfügbarkeit von Informationen im Text diskutierten: So erfolgte bei PHT6-B114 eine klare Orientierung an Textinformationen. Diese Person beschrieb dies auch bei der Modellvorstellung:

*PHT16-B114: Ja, da war viel dazu im Text. Deswegen ist das jetzt so groß geworden. (IDM17-Gruppe 3 – Teil 1 19-20)*

Andererseits wurde die Verfügbarkeit von Informationen auch als Grenze für das eigene Modell gesehen: da keine weiteren „Zukunftsaspekte“ im Text genannt wurden, wurde dieser Aspekt nicht weiterverfolgt:

*PHT16-B114: Die Forschung läuft quasi immer parallel dazu und sie forschen jetzt an mehrjährigen Energiepflanzen mit höherem Energieertrag, zum Beispiel Algen oder so was, wo dann keine Landnutzung nötig ist. #00:05:14# Und weitere Zukunftsaspekte werden jetzt aber in dem Text nicht genannt.#00:05:19# (IDM17-Gruppe 3 – Teil 1 14-15)*

#### 8.3.4.2 Subkategorie: Text und Domänenwissen

Beiträge von Teilnehmenden, deren Modelle nicht allein auf Textinformationen beruhten, wurden mit dem Code *Text und Domänenwissen* codiert, wenn anhand der Gesamtdaten erkennbar war, dass der/die Teilnehmende fachliches Vorwissen zu den eingebrachten Informationen mitbrachte.

Beispielhaft wird hier die Beschreibung des Marktgeschehens durch IDM16-H028 vorgestellt: Es handelt sich um einen Masterstudierenden des Studiengangs Industrial Management, der in der Modellvorstellung explizites Interesse an der Modellierung realer Prozesse aus der Wirtschaft benannte. Im folgenden Transkript sind Begriffe, die nach Einschätzung der Forscherin wirtschaftliches Fachwissen repräsentieren, das nicht in den Informationstexten bereitgestellt wurde, fett hervorgehoben.

*IDM16-H028: Mit geringeren Erzeugungskosten hab ich wieder nen / ne bessere **Wettbewerbssituation**, auch im Ausland. Die Subventionen im Inland machen natürlich auch die **Wettbewerbssituation im Ausland** wieder attraktiver. Und das führt dann dazu durch ne bessere Wettbewerbssituation. stärkt das wieder den Energiemarkt Deutschland. #00:08:46#  
IDM16-G846: Mh.*

*IDM16-H028: Jetzt bin ich hier davon ausgegangen. also wenn die konventionellen zurückgefahren werden und man jetzt davon ausgeht Biogasanlagen und die anderen werden ausgebaut. Wie erst mal / und die **Attraktivität** natürlich, das ist die Voraussetzung von dem Energiemarkt steigt, dann bin ich davon ausgegangen - das ist nur ne Annahme - dass die Effizienz und Profitabilität auch von Biogasanlagen in der Regel steigen sollten. Wenn die Effizienz und Profitabilität steigt ist normalerweise so, dass es natürlich **Investoren** anlockt. Die investieren natürlich **Kapital**. Das Kapital hat natürlich Auswirkungen über die Fertigung und Entwicklung auf das technologische Know-How wieder //*

*IDM16-G846: // Mh. //*

*IDM16-H028: Das stärkt wieder das Biogas oder den Energiemarkt. Über das gestärkte / oder über das größere **Kapitalangebot** ist dann natürlich in der Regel so, dass die Anzahl der Neuanlagen normalerweise steigen sollte (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 45-49)*

#### 8.3.4.3 Subkategorie: Text und Allgemeinwissen

Die dritte Subkategorie stellt eine Sammelkategorie dar: Hiermit wurden Fälle codiert, die zusätzlich zu Textinformationen Allgemeinwissen oder Annahmen ins Modell einbrachten.<sup>93</sup> Die Codierung wurde auch eingesetzt, wenn aus dem verfügbaren Dokumenten kein explizite Erklärung durch fachlichen Bezug für die eingebrachten Zusammenhänge nachweisbar war.

Beispielhaft ist ein Ausschnitt aus dem Modelltranskript von PHT16-N102 vorgestellt. Dieser Teilnehmer berücksichtigte bei der Frage nach der Flächennutzung (durch nachwachsende Rohstoffe) auch die Konkurrenznutzung durch Viehzucht. Er benannte hierbei auch Alternativen der Fleischproduktion, die über den thematischen Rahmen Flächennutzung zur Biogaserzeugung hinausgingen.

*PHT16-N102: [...] ich geh mal davon aus, dass die Futterpflanzen nen sehr hohen Anteil [an der Flächennutzung] haben. Ich weiß es nicht, aber ich geh mal davon aus. [...]*  
(Fokusgruppen\PHT16\_Modelle\_G2: 6 - 6)

Die in diesem Fall aktiv als Annahmen markierte Aussage wurde mit dem Code *Text und Allgemeinwissen* versehen. Aus den verfügbaren Daten geht nicht hervor, aus welchem Grund der Teilnehmende den Betrachtungshorizont auf die allgemeine Flächennutzung ausweitete. Erkennbar ist an diesem Beispiel jedoch, dass die im Rahmen der Intervention formulierte Fragestellung mit allgemeineren Wissensbeständen vernetzt wurde.

#### 8.3.4.4 Zusammenfassung zur Kategorie Ursprung der Modellgrößen

In allen Studierendengruppen gab es Personen, die ihr Modell ausschließlich auf Basis von Textinformationen erstellten und somit methodisch ähnlich wie im Pretest bzw. Posttest vorgehen. Auch die Einbindung von Allgemeinwissen oder Annahmen fand sich in allen Gruppen. Der Zugriff auf domänenspezifisches Wissen wurde für einige Teilnehmende aus Nicht-Lehramtsstudiengängen identifiziert (vgl. Tabelle 8-12).

Bei der Interpretation dieser Codierung ist anzumerken, dass die Zuordnung domänenspezifischen Wissens bei Studierenden der Ingenieurstudiengänge Systems Engineering bzw. Industrial Management dadurch möglich war, dass Informationen zu Vorkenntnissen aus den Erhebungsdaten verfügbar waren.

Demgegenüber waren weniger Daten mit spezifischem bzw. interdisziplinärem Vorwissen der Lehramtsstudierenden aus dem nicht-technischen Bereich verfügbar.

---

<sup>93</sup> Hier wurden aus einem ursprünglich weiter ausdifferenzierten System an Subkategorien die Ausprägungen „Annahmen“ und „Allgemeinwissen“ zusammengeführt, da eine klare Trennung beider Ausprägungen nicht praktikabel war.

**Tabelle 8-12: Verteilung der Subkategorien zur Hauptkategorie Ursprung der Modellgrößen nach Studiengangsgruppen.**

Gruppe	Subkategorie			
	nur Text	Text + Allgemein- wissen	Text + Domänenwissen	Text + andere Quelle
IDM16	3	1	3	4
IDM17	3	3	3	6
IP17	4	3	-	3
MSE16	1	1	2	3
PHT16	2	1	-	1
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>17</b>

Die Studierenden des Studiengangs PHT16 befanden sich zudem am Anfang des Studiums, so dass die Abgrenzung spezifischen Fachwissens von Allgemeinwissen schwierig war. Im Zweifelsfall wurden daher Modellgrößen, die nicht dem Text entstammten, der Kategorie *Text und Allgemeinwissen* als Sammelkategorie zugeordnet.

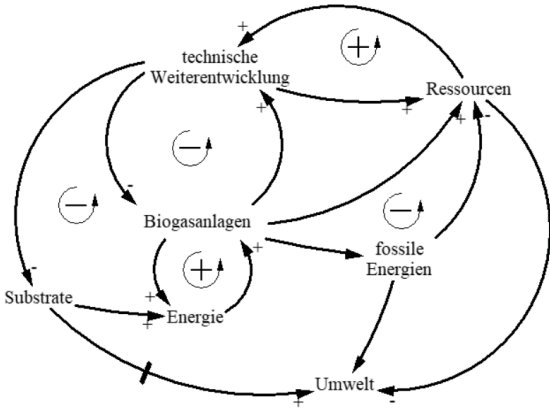
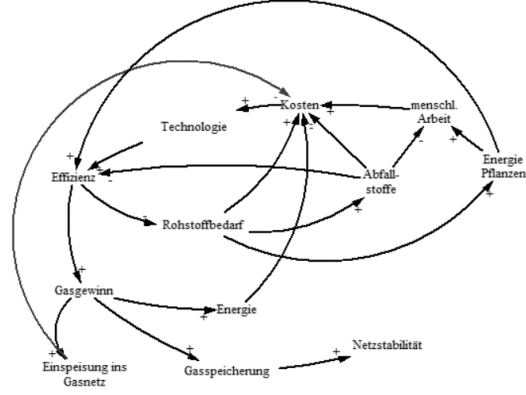
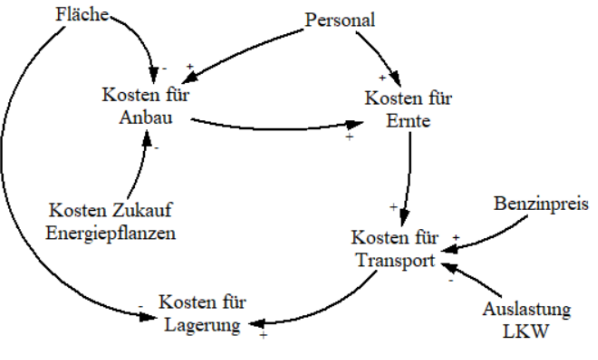
Insgesamt nutzte mehr als die Hälfte der Fälle Informationen, die nicht dem Text entstammten. Dies kann als Heuristik bei der Suche nach Zusammenhängen unter unvollständigen Informationen verstanden werden. Das Fehlen fachlicher Vorkenntnisse im Umfeld regenerativer Energien bei der Mehrheit der Teilnehmenden dürfte den Rückgriff auf andere Informationsquellen wie Allgemeinwissen verstärkt haben. Durch Zugriff auf Informationen außerhalb der Texte können zudem Modellgrößen auf ähnlicher Aggregationsebene formuliert werden, auch wenn diese nicht im Text benannt sind.

### 8.3.5 Aggregation

Die Hauptkategorie *Aggregation* beschreibt, in welcher Betrachtungstiefe die Teilnehmenden Systemgrößen und ihre Zusammenhänge im Modell abbildeten: *Hohe Aggregation* (Codierung mit +) beschreibt Modelle, in denen vorwiegend mit aggregierten Größen gearbeitet wurde. *Geringe Aggregation* (Codierung mit -) bezieht sich auf Modelle, in denen detailgenau modelliert wurde, indem eine Einzelgröße weiter zergliedert wurde. Allen Modelle, die sich weder dem einen noch dem anderen Extremum zuordnen ließen, wurden mit der neutralen Ausprägung (Codierung 0) versehen.

In Tabelle 8-13 sind unterschiedliche Aggregationstiefen von Modellen dargestellt.

**Tabelle 8-13: Gegenüberstellung der Ausprägungen von drei Subkategorien der Aggregation mit Modellbeispielen.**


Subkategorie zur Kategorie Aggregation	Modellbeispiel	Erklärung zur Einordnung
<p style="text-align: center;">+</p> <p style="text-align: center;">(hohe Aggregation)</p>	 <p style="text-align: center;">IDM17-H680</p>	<p>Die Modellgrößen sind allgemein gehalten und stellen Oberbegriffe aus den bereitgestellten Informationstexten dar. Biogasanlagen werden bei IDM17-H680 im Kontext eines größeren Systems angesehen.</p>
<p style="text-align: center;">0</p> <p style="text-align: center;">(neutrale Ausprägung)</p>	 <p style="text-align: center;">MSE16-H808</p>	<p>Das Modell von MSE16-H808 wird als Mischform eingestuft, da zwar verschiedene Substratalternativen und verschiedene Modellgrößen zur Darstellung technischer Zusammenhänge beinhaltet sind, aber die Modellgröße Kosten als aggregierte „Gesamtkosten“ abgebildet werden</p>
<p style="text-align: center;">-</p> <p style="text-align: center;">(niedrige Aggregation)</p>	 <p style="text-align: center;">IDM17-S959</p>	<p>Im Modell wird die Größe „Kosten“ weiter untergliedert. Das Modell umfasst detaillierte, und damit nicht aggregierte Modellgrößen.</p>

Während IDM17-H680 (Tabelle 8-13, oben) sehr allgemeine Begriffe als Modellgrößen einsetzte, bildete IDM17-S959 (Tabelle 8-13, unten) ein Modell, in dem die Kosten des Anlagenbetriebs detailliert, und somit nicht aggregiert aufgegliedert wurden. Als Beispiel für die neutrale Codierung ist das Modell von MSE16-H808 (Tabelle 8-13, Mitte) abgebildet, das verschiedene Aggregationsebenen vermischt.

Die Einordnung der Kategorie *Aggregation* erfolgte im Kontext der gesamten Interventionsdaten: Unterschiedlich detaillierte Modellierung kann auf die Aggregationsebene der Leitfrage zurückzuführen sein. Sie kann jedoch auch Ausdruck unterschiedlicher Vorkenntnisse sein, da Anfänger tendenziell zunächst Einzelaspekte im Detail darstellen, während Experten zunächst auf einer groben Aggregationsebene bleiben (vgl. Moss et al. 2006, Kapitel 4.4.2).

Auch methodische Vorkenntnisse in der Systemmodellierung können die Wahl der Aggregationsebene beeinflussen, beispielsweise, wenn auf bekannte archetypische Referenzmodelle zugegriffen wird, die eine aggregierter Form der Modellierung darstellen (vgl. Kapitel 3.2.4). Da Mischformen in der Aggregationstiefe auftauchten (vgl. Tabelle 8-13, Mitte), wurde häufig die neutrale Codierung zugeordnet, so dass insgesamt nur wenige Fälle eine nicht-neutrale Codierung erhielten. Eine Vermischung von Aggregationsebenen innerhalb eines Modells kann die Vorläufigkeit des Modells ausdrücken. Beispielsweise erfasste MSE16-H808 die Modellgröße *Kosten* zunächst nur aggregiert, da sie sich erst im Modellierungsprozess als relevant darstellte. Im Modell selbst ist jedoch bereits markiert, dass die Gesamtkosten weiter in laufende Kosten und Entwicklungskosten differenziert werden könnten (vgl. Tabelle 8-14). Das präsentierte Ergebnis besitzt somit einen vorläufigen Charakter und könnte weiter ausgebaut werden, wobei die Modellgröße *Kosten* weiter differenziert werden könnte.

**Tabelle 8-14: Aggregierte Darstellung der Modellgröße *Kosten* im Modell von MSE16-H808.**

<p>MSE16-H808: [...]Deswegen dachte ich, dass ich eigentlich einfach von der Technologie aus ausgehe. Die hat jetzt im Endeffekt ihren Platz hier bekommen. Aber irgendwie ist es dann doch wesentlich wirtschaftlicher geworden als ich dachte, deswegen (hab ich jetzt überall?) Kosten (lachend) und man sieht, dass alles irgendwie in die Kosten reinfließt (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 38)</p>	
---	--

Die Bedeutung der Kategorie *Aggregationsebene* liegt zunächst darin, die Existenz verschiedener Aggregationsebenen bei Modellen zu selbst erstellten Leitfragen aufzuzeigen.

Dies weist darauf hin, dass ein Modellvergleich und eine Bewertung der Modelle über quantitative Parameter wie die Anzahl von Modellgrößen, der Relationen oder andere Vernetzungsparameter (vgl. Ossimitz 2000, Kapitel 4.3.3) nicht zielführend wäre, und stattdessen andere Auswertungsformen, wie die hier eingesetzte qualitative Inhaltsanalyse, genutzt werden sollten. Weiterhin stellte die Kategorie Aggregation den Umgang der Studienteilnehmer\*innen mit der offenen Aufgabenstellung dar, wobei sich zeigt, dass verschiedene Ebenen bei der Systembetrachtung aufgegriffen werden (vgl. Kapitel 5.3.3).



### 8.3.6 Interaktion

In der Modellvorstellung wurden verschiedene Kommunikationsmuster identifiziert, deren Ausprägungen durch die Hauptkategorie *Interaktion* erfasst wurden. Es wurden die in Tabelle 8-15 dargestellten thematischen Subkategorien gebildet.

Die Ausprägungen der Subkategorien wurden so allgemein gewählt, dass eine Codierung auch bei unterschiedlich umfangreichen Beiträgen möglich war.

**Tabelle 8-15: Codierungsbeispiele für Subkategorien der Hauptkategorie Interaktion.**

Subkategorie Interaktion	Pseudonym	Beispiel
aktiver Zuhörer	IDM16-G846	<i>IDM16-H028: Das heißt, es muss nicht unbedingt. Also die Anzahl der Anlagen, der Neuanlagen muss nicht unbedingt sehr stark steigen.</i> <b>IDM16-G846: Okay.</b> <i>IDM16-H028: Und dadurch wie man es baut. Also wird natürlich die Kapazität ausgebaut. Von den Biogasanlagen. Hier hats natürlich noch die Restriktion. Ja die Ka / Die Anlagen, also die jetzt außer Betrieb genommen werden.</i> <b>IDM16-G846: Mh (fragend).</b> #00:10:05#[...] (IDM16_Gruppe2_Fokus2, Pos. 50-57)
Moderation	IDM17-B395	<b>IDM17-B395: Also das heißt bei dir wäre das Thema dann schon vom Schwerpunkt her verändert worden.</b> <i>IDM17-M985: Ja. von Klima, Umwelt, Ressourcenschutz und Technologie zu Klima, Umweltschutz, Ressourcenschutz gesellschaftliche Einstellung</i> <b>IDM17-B395: Okay</b> #00:10:09# (Blättern) Passt dann die Leitfrage noch? (IDM17_Gp2_tuer, Pos. 34-36)
inhaltliche Beiträge	MSE16-W122	<i>MSE16-W122: Wobei soweit ich das weiß, die Leute, die gerade Abfallstoffe in Biogasanlagen fahren, äh massive Probleme haben mit der Biologie.</i> #00:46:37# (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 77)
inhaltliche Fragen	IP17-A379	<b>IP17-A379: Was ist mit dem Strom? Kann man den nicht auch irgendwie besser nutzen, wenn man da irgendwie mehr Wärme hat? Oder ist es dann//</b> <i>IP17-E373: Ja doch. Aber ich hab mich ja hauptsächlich auf die entstehende Wärme ähm fixiert, weil ja der Strom grad immer die Beachtung findet.[...]</i> (Transkript_IP17_Gruppe1, Pos. 90-91)
methodische Beiträge	MSE16-H808	<i>MSE16-H808: Also ich glaube das hängt / Also man sieht schon, dass das alles immer fest zusammenhängt und man sich das nicht aussuchen kann. wenn das eine sozusagen sinkt, dann passiert alles was dran hängt mit.</i> #00:38:22#[...] (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 57)
methodische Fragen	IDM16-H028	<b>IDM16-H028: Ich hätt schon noch ne Frage. Und zwar: Wir sind ja hier. Das ist ja hier / du hast ja vorhin gesagt das ist ja die Gesamtmenge. Also ich kann nur eine gewisse Anzahl von Abfallstoffen und NaWaRo in so ne Biogasanlagen reintun, gell? Müssen die sich dann nicht negativ beeinflussen?</b> #00:05:04# Also weil. Wenn ich von dem einen jetzt weniger nehme, kann ich von dem anderen mehr nehmen, wenn ich von dem anderen mehr nehm, kann ich von dem einen halt weniger nehmen. <i>IDM16-A282: Ja.</i> <b>IDM16-H028: Muss da nicht Minus sein?</b> #00:05:15# <i>IDM16-A282: Ne. Ich hab ja hier. Also wenn ich äh mehr von den nachwachsenden Rohstoffen nutze, also wenn die steigt, sinkt die Nutzung.[...]</i> (IDM16_Gruppe2_Fokus2, Pos. 30-33)
Probleme des eigenen Modells	MSE16-W123	<i>MSE16-W123: [...] Da meine Frage falsch gewählt war vermutlich. Am Anfang erschien sie mir noch gut, danach nicht mehr so.[...]</i> (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 53)

Die Codierung erfolgte textstellenbezogen, so dass Mehrfachcodierungen pro Fall möglich waren.

Auffällig ist, dass mehr als die Hälfte der 30 Teilnehmenden Probleme bzw. Herausforderungen im eigenen Modell erkannte (vgl. Tabelle 8-16).

**Tabelle 8-16: fallbezogene Darstellung der Codierungen zur Hauptkategorie *Interaktion*.**

Subkategorie	Häufigkeit
aktive Zuhörer	9
Moderation	17
inhaltliche Beiträge	12
methodische Beiträge	8
methodische Fragen	3
inhaltliche Fragen	8
Probleme des eigenen Modells	17

Die Subkategorien der Interaktion bilden zunächst ab, dass die Beteiligung der einzelnen Personen im Gruppengespräch unterschiedlich war. Die Ausprägungen reichten hierbei von aktiver inhaltlicher und methodischer Beteiligung über moderierende Beiträge bis hin zur Beschäftigung mit dem eigenen Modell und seinen Problemen. Einige Teilnehmende brachten keine weitere Äußerung außer der eigenen Modellvorstellung ein.

Verschiedene Interaktionsbeiträge können den Lernprozess während der Modellvorstellung beeinflussen: Beispielsweise können moderierende Beiträge die Gesprächsatmosphäre verbessern. Der Einfluss fragender und moderierender Beiträge auf die individuellen Lernerfahrungen ist hierbei aus den vorhandenen Daten kaum einzuschätzen. Jedoch bilden die von den Teilnehmenden selbst formulierten Herausforderungen einen subjektiven Blick auf den eigenen Lernprozess ab. Daher wurden Herausforderungen in einer eigenen Kategorie untersucht.

### 8.3.7 Benannte Herausforderungen

Mit der Kategorie *benannte Herausforderungen* wurden Textstellen der Transkripte codiert, in denen Teilnehmende subjektiv erkannte Probleme mit der Modellierungsaufgabe bzw. dem eigenen Lösungsansatz formulierten.

Beispiele für Codierungen mit den Subkategorien *inhaltliche Herausforderung*, *methodische Herausforderung*, sowie Textstellen mit einer Codierung beider Herausforderungsarten sind in Tabelle 8-17 mit Codebeispielen aufgeführt. Methodische Herausforderungen sind in verschiedenen Phasen der Modellierung lokalisiert. Sie fanden sich von der Formulierung der Leitfrage, über das Festlegen von

Modellgrenzen bis hin zum Vorgehen in der Modellierung. Auch die Passung von Leitfrage und Modell, sowie der iterative Prozess bzw. die Unvollständigkeit des Modells wurden thematisiert. Inhaltlich wurden der Wechsel der Perspektive, sowie fehlende Informationen bzw. fehlendes Fachwissen als Herausforderungen benannt.

Da die Benennung von Herausforderungen oder Problemen nicht explizit als Aufgabe in der Studie formuliert war, wurde bei Fällen ohne eine solche Nennung die Subkategorie *keine Herausforderung benannt* codiert. Zu bemerken ist hierbei, dass auch die Modelle einiger Personen, die methodisch fehlerhaft modellierten (vgl. Kapitel 8.3.1), teilweise die Codierung *keine Herausforderung benannt* erhielten. Die individuell durch Teilnehmende formulierten Herausforderungen sind daher nicht mit der inhaltlichen bzw. methodischen Güte der Modellierung nach Einschätzung der Forscherin identisch.

Welche Ursachen das Benennen oder Nichtbenennen von Herausforderungen haben kann, konnte mit den vorliegenden Daten nicht geklärt werden. Mögliche Erklärungsansätze sind, dass keine Notwendigkeit zur Benennung von Herausforderungen gesehen wurde, entweder weil keine Probleme vorlagen oder diese nicht wahrgenommen wurden. Eine weitere Erklärung ist, dass situative Rahmenbedingungen (z.B. verfügbare Zeit, Atmosphäre in der Gruppe) die Benennung von Herausforderungen verhinderten.

**Tabelle 8-17: Codebeispiele für die Hauptkategorie Herausforderungen.**

<b>Ebene</b>	<b>Beschreibung Herausforderung</b>	<b>Codebeispiel</b>
methodisch	Grenzen des Modells	<i>IDM17-L956: Also, könnte man ja endlos weiterführen die Forschung und so weiter. (IDM17_Gp1_fenster, Pos. 3)</i>
inhaltlich	wenig Informationen im Text	<i>MSE16-E744: Da war jetzt nicht hundertprozentig so viel im Text, es stand immer nur drin, dass subventioniert wird, aber nicht wies auch OHNE gehen kann [...](MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 2)</i>
inhaltlich	fehlende Informationen und Annahmen	<i>PHT16-N102: [...]Dann bin ich mal so so ganz kühn davon ausgegangen. Da hab ich jetzt einmal die .gesellschaftliche Komponente. Jetzt das mal . ich geh mal davon aus, dass die Futterpflanzen nen sehr hohen Anteil haben. Ich weiß es nicht, aber ich geh mal davon aus. (PHT16_Modelle_G2, Pos. 6)</i>
inhaltlich	fehlendes Fachwissen zu Biogasanlagen	<i>MSE16-H808: Nene, aber ich weiß über Photovoltaik wesentlich mehr wie darüber oder über Windkraft, über Atomkraft, Kohle mh ich wusst ehrlich gesagt nicht mal, dass wir so viel / dass es so viele Biogasanlagen in Deutschland gibt. Hätte ich eher weniger eingeschätzt. #00:43:56# (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 68)</i>
inhaltlich und methodisch	Wahl der Leitfrage (fehlende Informationen)	<i>MSE16-W123: [...]Da meine Frage falsch gewählt war vermutlich. Am Anfang erschien sie mir noch gut, danach nicht mehr so.[...] (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 53)</i>

## 8.4 Zusammenhangsanalyse

Die Zusammenhangsanalyse bildet die letzte Phase der qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (vgl. Kapitel 7.2.4). Für das Forschungsanliegen, den Beitrag der Systemmodellierung zur Mehrperspektivität zu untersuchen, sind besonders die Kategorien *Erklärung der Modellstruktur* und *Vernetzung von Perspektiven* von Interesse, da sie die methodischen Kenntnisse und den Umgang mit Mehrperspektivität der Teilnehmer\*innen in der Interventionsstudie beschreiben.

Nach den Zusammenhängen zwischen diesen beiden Kategorien, die im Folgenden als Leitkategorien bezeichnet werden, werden im Kapitelverlauf weitere Zusammenhangsanalysen in einer Übersichtstabelle dargestellt.

### 8.4.1 Zusammenhang zwischen Erklärung der Modellstruktur und Vernetzung von Perspektiven

Tabelle 8-18 stellt die Häufigkeiten der kombinierten Codierung von Subkategorien der Hauptkategorien *Erklärung der Modellstruktur* und *Vernetzung von Perspektiven* gegenüber.

Für die mit \* versehenen Ausprägungskombinationen aus Tabelle 8-18, die eine randständige Lage innerhalb der Zusammenhangsanalyse darstellen, sind Modellfälle in Tabelle 8-19 und Tabelle 8-20 dargestellt.

**Tabelle 8-18: Zusammenhang zwischen den Hauptkategorien *Erklärung der Modellstruktur* und *Vernetzung von Perspektiven*.**

		Vernetzung von Perspektiven			
		eine Perspektive	Haupt- und Nebenperspektive	zwei Perspektiven	drei oder mehr Perspektiven
Erklärung der Modellstruktur	Stufe 0	0	0	2	2*
	Stufe 1	2*	1	1	2
	Stufe 2	0	3	3	1
	Stufe 3	0	1	6	6*

Die große Mehrheit der Teilnehmenden (28 von 30 Personen) berücksichtigte im Modell mehr als eine Perspektive. Die meisten von ihnen nutzten Relationen zur Darstellung von Systemzusammenhängen im Modell (26 von 30 Personen) und erreichten damit mindestens die erste Stufe der Kategorie *Erklärung der Modellstruktur*. Dabei wurde in fünf Fällen Wirkungsketten (Stufe 1) und in 21 Fällen Wirkungsdiagramme mit Rückkopplungen eingesetzt.

**Tabelle 8-19: Exemplarische Darstellung von Modellen zu Ausprägungskombinationen der Kategorien Erklärung der Modellstruktur und Vernetzung von Perspektiven (Teil 1).**

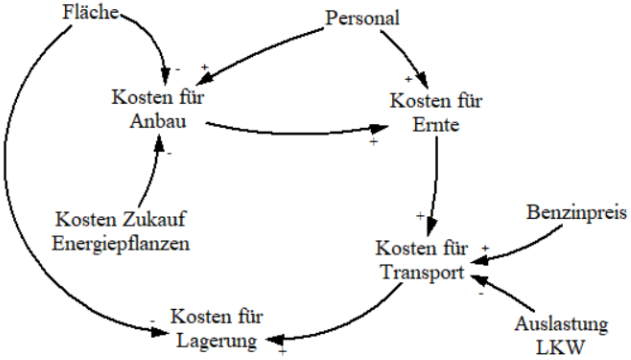
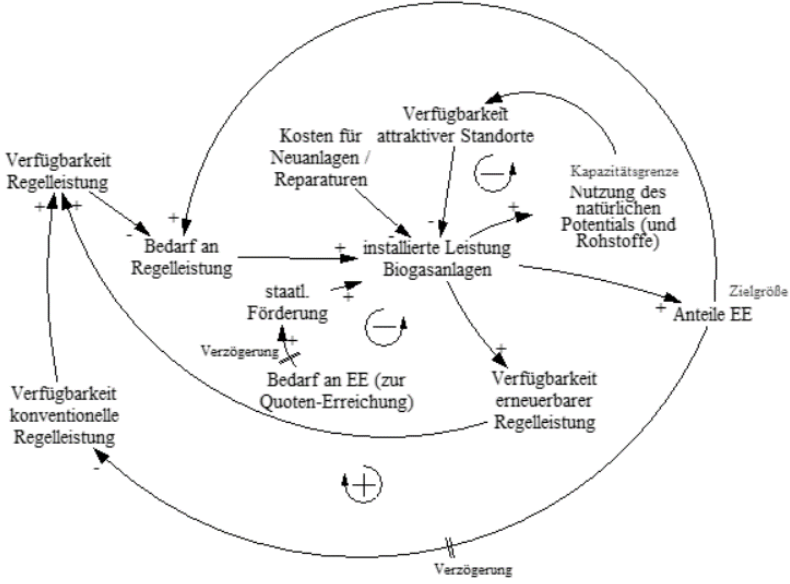
Pseudo-nym	Erklärung Modellstruktur/ Anzahl Perspektiven	Modell
PHT16-N102	Stufe 0 / 3 oder mehr Perspektiven	<p>Das Diagramm zeigt die Vernetzung von Perspektiven und die Erklärung der Modellstruktur. Es besteht aus mehreren Elementen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Oben links:</b> Ein Venn-Diagramm mit drei überlappenden Kreisen. Der obere Kreis ist beschriftet mit 'POLITIK' und 'AGROPOLITIK'. Der untere Kreis mit 'Wirtschaft' und 'Angebot und Nachfrage'. Der mittlere Kreis mit 'Lobbyismus'.</li> <li><b>Oben rechts:</b> Ein Kreisdiagramm mit der Überschrift 'alle möglichen Anbauflächen in Deutschland'. Der Kreis ist in drei Segmente unterteilt: 'Futter (indirekte Lebensmittel)', 'direkte Lebensmittel' und 'Energiepflanzen'. Darunter steht: 'Je mehr für das eine, desto weniger für das andere'.</li> <li><b>Rechts daneben:</b> Ein Kasten mit der Aufschrift 'Öko-Ethik' und 'D. als Vorbild Welthunger'.</li> <li><b>Unten links:</b> Ein Kasten mit den Pfeilen '-&gt; Politik', '-&gt; Wirtschaft' und '-&gt; Ethik'.</li> <li><b>Unten rechts:</b> Ein Kasten mit dem Text 'Technischer Fortschritt kann verbessern' und einem vertikalen Doppelpfeil zwischen 'Anteil Energiepflanzen' (nach unten) und 'Anteil sonstiger Müll' (nach oben).</li> <li><b>Unten ganz links:</b> Ein Kasten mit 'Gesellschaftliches Bewusstsein' und '-&gt; ethisch (Verantwortung)'. Ein Pfeil zeigt von diesem Kasten nach oben zum Kasten '-&gt; Politik, Wirtschaft, Ethik'.</li> <li><b>Verbindungen:</b> Ein horizontaler Pfeil führt von der 'Öko-Ethik' nach links zum Venn-Diagramm. Ein vertikaler Pfeil führt von dem Kasten 'Technischer Fortschritt...' nach oben zum Kreisdiagramm.</li> </ul>

Da die mehrperspektivischen Ausprägungen zwei *Perspektiven* bzw. *drei oder mehr Perspektiven* in allen Ausprägungskombinationen mit den Subcodes der Kategorie *Erklärung der Modellstruktur* auftraten, können die Merkmale *Vernetzung von Perspektiven* und *Erklärung der Modellstruktur* mit Bezug auf die vorliegende Sample als weitgehend unabhängig voneinander betrachtet werden (Tabelle 8-18, Spalten 3 und 4). Sie können daher als Leitkategorien den Ausgangspunkt für den Merkmalsraum der Typenbildung bilden (vgl. Kapitel 10ff.).

Auffällige Muster fanden sich bei den Personen, die nicht mehrperspektivisch modellierten: Die Personen, die nur eine Perspektive berücksichtigten, setzten beide Wirkungsketten ein und modellierten damit auf elementarer Ebene (Tabelle 8-18, Spalte 1).

Beispielsweise untersuchte PHT16-N102 perspektivisch komplexe Zusammenhänge, bildete diese jedoch nicht in Form eines Wirkungsdiagramms ab (vgl. Tabelle 8-19).

**Tabelle 8-20: Exemplarische Darstellung von Modellen zu Ausprägungskombinationen der Kategorien Erklärung der Modellstruktur und Vernetzung von Perspektiven (Teil 2).**

Pseudo-nym	Erklärung Modellstruktur/ Anzahl Perspektiven	Modell
IDM17-S959	Stufe 1 / Eine Perspektive	
IDM16-S359	Stufe 3 / 3 oder mehr Perspektiven	

Demgegenüber reduzierte IDM17-S959 perspektivische Komplexität, indem ausschließlich wirtschaftliche Größen im Modell berücksichtigt wurden (vgl. Tabelle 8-20 oben). Hier erfolgte die Vernetzung zwischen Modellgrößen durch Wirkungsketten ohne Rückkopplungen.

Das Modell von IDM16-S359 (vgl. Tabelle 8-20 unten) zeigt exemplarisch, wie mehrere Perspektiven mit korrekter methodischer Darstellung vernetzt dargestellt werden können. In diesem Modell wurden auch die Polarität von Rückkopplungen untersucht und zudem Zeitverzögerungen eingezeichnet.

8.4.1.1 Zusammenhänge zwischen Leitkategorien und weiteren Merkmalsausprägungen

Die Zusammenhänge zwischen den Leitkategorien und den weiteren Merkmalsausprägungen des Kategoriensystems sind in Tabelle 8-21 tabellarisch zusammengefasst.

**Tabelle 8-21: Übersicht der Zusammenhänge zwischen den Leitkategorien und den weiteren Hauptkategorien.**

Hauptkategorie	Leitkategorie	
	Modellvorstellung	Vernetzung von Perspektiven
<b>Aggregations-ebene</b>	Die neutrale Ausprägung der <i>Aggregation</i> ist bei allen Subkategorien der Leitkategorie <i>Erklärung der Modellstruktur</i> vorhanden. Modelle, die viele Details umfassen, wurden eher von Personen erstellt, welche die Modellierungsmethodik in der Intervention nicht vollständig einsetzen. Aggregierte Modelle wurden vorwiegend von Personen genutzt, die im Modell Rückkopplungen berücksichtigten (Stufen 2 und 3).	Es besteht ein Zusammenhang zwischen Aggregationstiefe und Anzahl der Modellgrößen: Detailmodelle wurden von Teilnehmenden erstellt, die ihr Modell auf eine Perspektive beschränkten. Demgegenüber waren aggregierte Modelle besonders bei Personen zu finden, die eine mehrperspektivische Fragestellung untersuchten. Aggregierte Begriffe wurden häufig in Modellen mit sozio-ökologischem Schwerpunkt eingesetzt (z.B. Modellgröße „Ethik“)
<b>Ursprung der Modellgröße</b>	In allen Ausprägungsstufen wurde von mehr als der Hälfte der Teilnehmenden Modellgrößen eingesetzt, die inhaltlich nicht direkt aus den bereitgestellten Texten stammten.	Bei zunehmender Anzahl von Perspektiven unterstützten selbst eingeführte Modellgrößen (z.B. Oberbegriffe) oder fachliches Vorwissen die Darstellung von Zusammenhängen zwischen Perspektiven. Besonders bei gesellschaftlichen und ökologischen Aspekten wurde auch auf Allgemeinwissen zurückgegriffen.
<b>Interaktion</b>	Die Ausprägung der Interaktion war insgesamt heterogen. Bei Personen mit Ausprägungen der Stufe 0 und 1, die keine Rückkopplungen im Modell der Intervention darstellten, waren eher moderierende Beiträge zu finden.	Die Ausprägungen sind vielfältig und ohne klar erkennbares Muster.
<b>Herausforderungen</b>	Herausforderungen wurden in allen Ausprägungsstufen in der Modellvorstellung benannt. Eine Reflexion bzw. ein Austausch über methodische und inhaltliche Herausforderungen erfolgte selten bei Personen, deren Modellierung den Stufen 0 oder 1 zuzuordnen war, obwohl dort Probleme im Einsatz der Modellierungsmethodik vorlagen.	Herausforderungen wurden von Fällen mit der Ausprägung Haupt- und Nebenperspektive ausführlich genannt. <sup>94</sup> Auch bei den anderen Ausprägungen benannte mehr als die Hälfte der Fälle Probleme. Mit zunehmender Anzahl der Perspektiven stieg auch die Nennung inhaltlicher Herausforderungen tendenziell an.

<sup>94</sup> Erklärend hierfür ist auch der Umstand, dass mehrere Teilnehmende der Gruppe MSE16 in diese Ausprägungskombination fallen und in jener Gruppe am Ende der Intervention ein Gespräch über Herausforderungen stattfand.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die analytischen Kategorien *Entwicklung der Modellstruktur* und *Vernetzung von Perspektiven*, die in verschiedensten Ausprägungskombinationen vorkamen, als Ausgangspunkt für die Typenbildung dienten.

#### 8.4.2 Zusammenhang zwischen weiteren Kategorien

Die Kategorien *Ursprung der Modellgröße* und *Aggregationsebene* sind nicht unabhängig voneinander zu betrachten: Beide charakterisieren, wie in der gegebenen Informationslage aus einer selbst formulierten Leitfrage ein Modell entwickelt wurde.

Fachwissen wurde in etwa der Hälfte der Fälle im Modell eingebunden. Es war anteilig besonders häufig bei aggregierten Modellen zu finden (5 von 6 Fällen). Eine mögliche Erklärung ist im Rückgriff auf bekannte strukturelle oder inhaltliche Zusammenhänge wie Systemarchetypen (vgl. Kapitel 3.2.4) oder auf Konzepte, die den Studierenden aus ihren Fachdisziplinen bekannt sind, zu suchen.

Demgegenüber wurden detaillierte Modelle meist ausgehend von verfügbaren Textinformationen erstellt. Dies unterstützt die in Kapitel 8.3.5 beschriebene Erkenntnis, dass Anfänger der Modellierung gemäß der Aufgabenstellung arbeiten und und eher detailliert als mit einer Gesamtsicht modellieren.

Tabelle 8-22 zeigt Kombinationshäufigkeiten thematischer Codes auf Fallebene. Diagonalelemente geben die Anzahl der Modelle an, in denen die jeweilige Perspektive codiert wurde. Alle anderen Einträge beschreiben die Häufigkeit der Kombination von zwei Subkategorien. Bei mehr als drei Vierteln der Teilnehmenden wurden Modelle mit der thematischen Subkategorie *Technik* codiert (24 von 30 Fällen). Ähnlich häufig erfolgte die Codierung mit der Subkategorie *Wirtschaft* (23 von 30 Fällen).

**Tabelle 8-22: Fallbezogene Übersicht über die Ausprägungskombinationen thematischer Subkategorien.**

	<b>Gesellschaft</b>	<b>Umwelt</b>	<b>Technik</b>	<b>Wirtschaft</b>
<b>Gesellschaft</b>	11	5	7	6
<b>Umwelt</b>	5	18	14	13
<b>Technik</b>	7	14	24	19
<b>Wirtschaft</b>	6	13	19	23

Die Subkategorie *Umwelt* wurde bei drei Fünfteln der Teilnehmenden codiert (18 von 30 Fällen), die Subkategorie *Gesellschaft* bei etwa einem Drittel der Modelle (elf von 30 Fällen). Nur bei fünf von 30 Modellen wurden die Subkategorien *Gesellschaft* und *Umwelt* gemeinsam codiert.



Demgegenüber vernetzten knapp zwei Drittel der Teilnehmenden wirtschaftliche und technische Perspektiven in ihrem Modell (19 von 30 Teilnehmenden).

Auffällig ist, dass die Codes *Technik* und *Wirtschaft* deutlich häufiger codiert wurden als der Code *Gesellschaft*. Dies ist in Anbetracht des fachlichen Hintergrunds der Studienteilnehmer\*innen plausibilisierbar: Aufgrund des technischen Studiengangs sollte die technische Perspektive bei den Teilnehmenden salient sein (vgl. Kapitel 4.4.6). Besonders Studierende des Wirtschaftsingenieurwesens verfügen über einen direkten Bezug zu wirtschaftlichen Zusammenhängen und wirtschaftswissenschaftlichen Modellen, was die häufige Codierung mit der Perspektive *Wirtschaft* plausibel macht.

Die Wahl von Perspektiven und die anschließende Ableitung einer mehrperspektivischen Leitfrage erfolgte somit häufig mit Bezug auf Perspektiven, die aus dem Studium bekannt sein können.

**Tabelle 8-23: Zusammenhangsanalyse zwischen thematischen Kategorien und Ursprung der Modellgröße.**

		betrachtete Perspektiven			
		Umwelt	Gesellschaft	Wirtschaft	Technik
Ursprung Modell- größen	Text	9	3	9	9
	Text + andere Quelle	9	8	14	15

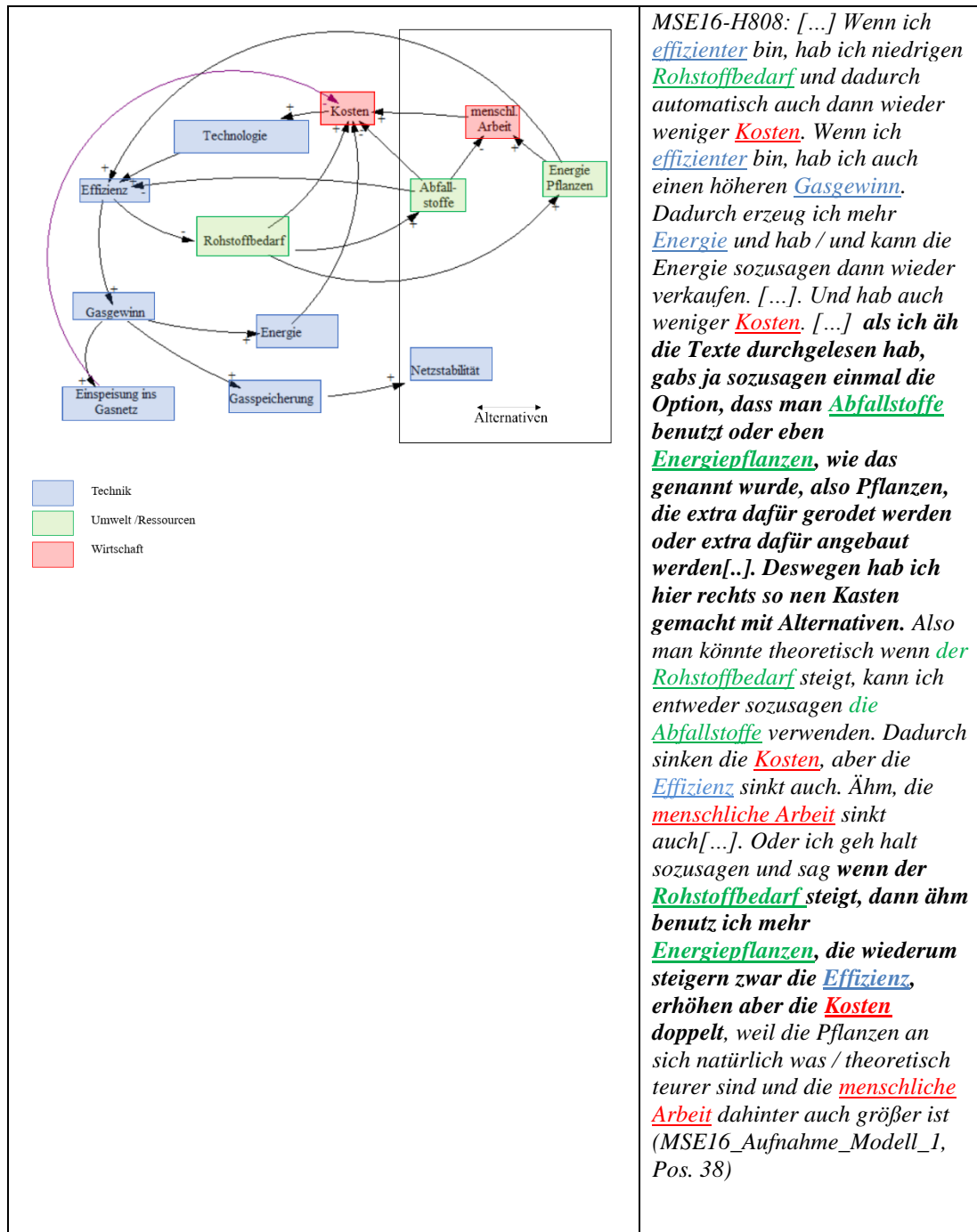
Neun von zwölf Modellen, die ausschließlich aus Textinformation erstellt wurden, beinhalten die Codierung *Umwelt* (vgl. Tabelle 8-23).

Die recht häufige Berücksichtigung der Perspektive *Umwelt* verglichen mit der Perspektive *Gesellschaft* ist über die Informationstexte erklärbar: Dort wurden unter anderem verschiedene Einsatzstoffe (Substrate) thematisiert. *Substrate* wiederum weisen neben den ökologischen auch wirtschaftliche und technische Eigenschaften auf, die in anderen Texten beschrieben waren. Eine Vernetzung von Perspektiven mit Bezug auf das Thema Substrate/Einsatzstoffe war ausgehend von bereitgestellten Informationen somit mehrperspektivisch offenbar leicht möglich, auch wenn Umwelt bei den meisten Teilnehmender der Studie keinen fachlichen Studienschwerpunkt darstellte. Dieser Zusammenhang wird in Kapitel 9.2 bei der Überprüfung der Intercoder-Übereinstimmung bestätigt.

Die Erarbeitung von Zusammenhängen zwischen technischen, wirtschaftlichen und umweltbezogenen Größen ist in Tabelle 8-24 exemplarisch für die Modellierung von MSE16-H808 dargestellt. Während MSE16-H808 die technischen Zusammenhänge ohne weitere Bemerkungen beschrieb, wurde bezüglich der Rohstoffe und ihrer

Eigenschaften explizit auf den Text zum Thema Umwelt referenziert (erste Hervorhebung im Transkript in Tabelle 8-24).

**Tabelle 8-24: Vernetzung der Perspektiven am Beispiel des Modells von MSE16-H808. Links: Modell von MSE16-H808. Rechts: Auszug aus der Modellvorstellung.**



Das Modell kann als Beispiel für einen Integrationsprozess von Perspektiven gesehen werden, bei dem insbesondere mehrere Betrachtungsperspektiven für Energiepflanzen vernetzt wurde: Energiepflanzen wurden mit ihrer doppelten Wirkung, nämlich einer erhöhten Effizienz der Gasproduktion, aber auch gesteigerten Kosten erkannt (zweite Hervorhebung im Transkript in Tabelle 8-24).

#### 8.4.3 Zusammenhänge zwischen Perspektiven und weiteren Kategorien

Vergleicht man die thematischen Codierungen der Perspektiven und weitere Subkategorien auf Fallebene, so lassen sich verschiedene Muster erkennen.<sup>95</sup>

Einerseits konnte das gewählte Themenfeld oder die Art der Leitfrage die Aggregationsebene beeinflussen. So wurden gesellschaftliche Bezüge häufig auf einer Metaebene beschrieben (vgl. Tabelle 8-21). In wirtschaftlich geprägten Modellen können Pole der Aggregation zwischen Individualbetrachtungen (Betriebswirtschaft, z.B. aus Sicht eines Anlagenbetreibers) und Volkswirtschaft (z.B. Energieversorgungssystem aus wirtschaftspolitischer Sicht) formuliert werden. Für sozio-technische Systeme wurden die verschiedenen Ebenen der Aggregation durch Ropohl beschrieben (vgl. Kapitel 5.3). Diese Ebenen waren möglicherweise Personen des Studiengangs PHT16, die im Rahmen des Seminars *Allgemeine Technologie* an der Studie teilnahmen, bekannt. Beispielsweise wählte PHT16-N102 eine Darstellung, die ein hierarchisches Verständnis von Systemzusammenhängen widerspiegelt (vgl. Tabelle 8-19).

Weiterhin können die Verfügbarkeit von Informationen und die Art der Modellgrößen die Modellstruktur beeinflussen. So ist bei gesellschafts- und umweltbezogenen Zusammenhängen der Einsatz von *Soft Variables* häufig (vgl. Kapitel 3.2.3). Da diese nur konzeptionell betrachtet werden, werden sie tendenziell auf aggregierter Ebene betrachtet. Dies mag erklären, wieso Personen, die gesellschaftliche Aspekte in ihrem Modell integrieren, fast immer Herausforderungen benannten, während bei dies für andere Perspektiven nur bei etwa der Hälfte der Teilnehmenden der Fall war. Die aggregierte Betrachtungsebene erschwerte möglicherweise das Ableiten von Relationen aus den Textinformationen und die Anschlussfähigkeit an andere Perspektiven. Zudem konnten die meisten Teilnehmenden bzgl. gesellschaftlicher Zusammenhänge nicht so einfach auf Präkonzeptionen zurückgreifen, wie dies bei Perspektiven mit direktem Bezug auf die Studienfächer der Fall sein dürfte.

Bei allen vier Perspektiven wurde in mehr als der Hälfte der Fälle Information eingebunden, die nicht aus dem Text stammte.

---

<sup>95</sup> Die zugehörigen tabellarische Übersichten ist in Anhang F.3 dargestellt.

Dies kann als allgemeine Heuristik zum Umgang mit unvollständigen Informationen bei einer komplexen Aufgabenstellung verstanden werden, die fachnah oder mit Bezug auf Allgemeinwissen gelöst werden kann.

Haupt- und Nebenperspektive wurden mehrheitlich mit den Kategorien Wirtschaft und Technik codiert. Dies ist einerseits über die fachlichen Vorkenntnisse der Teilnehmenden in diesen Fachbereichen zu erklären. Andererseits ist hier auf ein mögliches Artefakt hinzuweisen:

Die Codedefinition für die Ausprägung Haupt- und Nebenperspektive lautet

*„Modelle, bei denen eine Hauptperspektive mit thematischer Nähe zum eigenen Studienfach und eine untergeordnete Nebenperspektiven vertreten sind. Einschätzung erfolgt durch Analyse der Gewichtung von Perspektiven in Modell und Modellvorstellung“ (Codedefinition Subkategorie Haupt- und Nebenperspektive).<sup>96</sup>*

Zur Codierung mit dieser Subkategorie wurde über die Gesamtdaten der Bezug zwischen den im Modell vertretenen Perspektiven und dem Fachbezug der Teilnehmenden hergestellt. Da für die Perspektiven *Umwelt* und *Gesellschaft* weniger Daten erhoben wurden, waren Vorkenntnisse in diesen Feldern schwerer nachzuweisen. Die Ausprägung der Subkategorie *Haupt- und Nebenperspektive* mit Bezug auf die Perspektiven *Wirtschaft* und *Technik* ist daher als spezifische Erkenntnis für das vorliegende Sample und seine Datenbasis zu verstehen (vgl. Kapitel 14).

Bezüglich der methodischen Umsetzung der Modellierung kann folgender Zusammenhang beschrieben werden: Die Modellierung wurde bei mehr als der Hälfte der Modelle, in denen *Technik* bzw. *Wirtschaft* codiert wurde, mit der fortgeschrittensten Ausprägung *Stufe 3* codiert. Bei Modellen, die eine gesellschaftliche Perspektive beinhalteten, wurden nur zwei von elf Modellen in diese Stufe eingeordnet. Dies kann in Bezug zu den bereits beschriebenen Zusammenhängen zwischen Perspektiven, Ursprung der Modellgrößen, Aggregationsebene, sowie fachlichen Vorkenntnissen stehen.

Als Vorbereitung der Typenbildung wurden für das vorliegende Sample zunächst gemeinsame Ausprägungsmuster in Form von Konfigurationen betrachtet.

---

<sup>96</sup> Vgl. Anhang F.1

#### 8.4.4 Konfigurationen

Konfigurationen bezeichnen Kombinationen von mehr als zwei Codes (vgl. Kuckartz 2018, S. 120). In der folgenden Darstellung von Konfigurationen sind Fälle bezüglich fallbezogener Kategorien nach Ähnlichkeit sortiert. Die Gruppierung erfolgt primär sortiert nach den Leitkategorien *Darstellung der Modellstruktur* und *Vernetzung von Perspektiven*, da diese Kategorien den thematischen Fokus der Forschungsfrage abbilden. Nachgeordnet wurde nach den Kategorien *Aggregation* und *Herausforderungen* sortiert. *Herausforderungen* wurden hierzu auf Fallebene binär codiert (0: keine Herausforderung benannt, 1: Herausforderung benannt).

Um die Perspektive, deren Codierungsmuster sich deutlich von den anderen unterscheidet zu berücksichtigen und herauszufinden, inwiefern solch struktureller Codierungsunterschiede im Merkmalsraum einer Typologie abgebildet werden sollten, wurde die binär codierte Ausprägung *Codierung Gesellschaft vorhanden?* in die Konfigurationen ergänzt.

In Tabelle 8-25 sind Fälle, deren Kategorien in allen Ausprägungen übereinstimmen, farblich gruppiert dargestellt.

**Tabelle 8-25: Konfigurationen von Merkmalsausprägungen. grau: Fallgruppierungen, die in allen Ausprägungen übereinstimmen, weiß: Fälle, die in vier von fünf Ausprägungen übereinstimmen.**

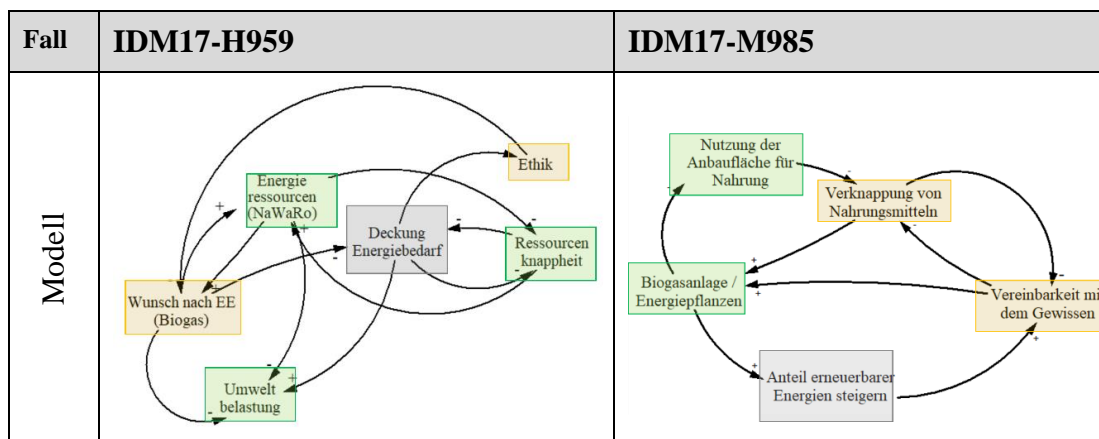
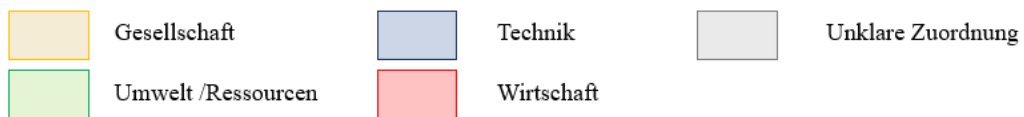
Legende: Erklärung der Modellstruktur: Stufen 0, 1, 2 und 3; Vernetzung von Perspektiven: 1: eine Perspektive, 1,5: Haupt- u. Nebenperspektive, 2: zwei Perspektiven, 3+: 3 oder mehr Perspektiven; Herausforderung benannt? 0: nein, 1: ja; Codierung Gesellschaft vorhanden? 0: nein, 1: ja

Pseudonym	Erklärung der Modellstruktur	Vernetzung Perspektiven	Aggregation	Herausforderung benannt?	Codierung Gesellschaft vorhanden?	Name der Gruppierung
IDM16-W041	2	1,5	0	1	0	E
IDM16-H028	2	1,5	0	1	1	
IP17-T379	2	2	0	0	0	F
IP17-A377	2	2	0	0	0	
IDM17-H959	2	2	+	1	1	A
IDM17-M985	2	2	+	1	1	
IDM16-M042	3	2	0	1	0	B
MSE16-W122	3	2	0	1	0	
IDM17-B395	3	2	+	0	0	C
IDM17-H680	3	2	+	0	0	
IDM16-A282	3	3+	0	0	0	D
IDM16-S359	3	3+	0	0	0	
IDM17-W696	3	3+	0	0	0	

Pseudonyme von Teilnehmenden, bei denen vier der fünf Codierungen unter Vorgabe der identischen Codierung der Leitkategorien auftreten, sind grau markiert. Fälle, die in der Tabelle nicht repräsentiert sind, stimmen in weniger als vier Kategorien mit anderen Fällen überein.

Gruppierung A (vgl. Tabelle 8-26) umfasst die Modelle von zwei Personen, die Biogasanlagen im gesellschaftlichen Kontext betrachteten und hierbei in einem aggregierten Modell zwei Perspektiven vernetzten. Die Modelle beinhalten Rückkopplungen, die jedoch nicht markiert wurden. In der Modellvorstellung wurden Herausforderungen benannt.

**Tabelle 8-26: Vergleich zweier Modelle mit Gesellschaftsbezug von IDM16-H959 und IDM17-M985 (Gruppierung A).**



Gruppierung B umfasst zwei methodisch korrekte erstellte Modelle, in denen zwei Perspektiven vernetzt wurden, wobei die Perspektive *Gesellschaft* nicht berücksichtigt wurde. Von diesen Teilnehmenden wurden ebenfalls Herausforderungen benannt.

Die ersten Merkmalsausprägungen bei Gruppierung C sind vergleichbar zu Gruppe B: Auch hier wurde methodisch korrekt ein aggregiertes Modell erstellt, ohne dass gesellschaftliche Größen berücksichtigt wurde. Die Studienteilnehmenden benannten jedoch keine Herausforderungen.

Gruppierung D umfasst die Modelle von drei Teilnehmenden, die methodisch korrekt auf neutraler Aggregationsebene die drei Perspektiven Technik, Wirtschaft und Umwelt vernetzten. Hier wurden keine Herausforderungen in der Modellierung benannt.

In Gruppierung F wurden zwei Perspektiven unter Darstellung von Rückkopplungen modelliert. Die weiteren Ausprägungen wurden bei diesen Fällen jeweils mit 0 codiert.

Bei den Modellen der Gruppierung E wurde die Vernetzung von Perspektiven mit der Subkategorie Haupt- und Nebenperspektive codiert. Die Modellierung fand auf Stufe 2, also ohne die explizite Codierung von Rückkopplungen, statt. Bei dieser Gruppierung unterscheiden sich die Modelle in der Ausprägung der Kategorie Gesellschaft.

#### 8.4.4.1 Erkenntnisse aus den Konfigurationen

Über Konfigurationen lassen sich Modelle in mehreren Dimensionen vergleichen. Konfigurationen mit Bezug auf die in Tabelle 8-25 dargestellten Merkmale bildeten den Ausgangspunkt für einen ersten Typologieentwurf. Dieser umfasst die in Tabelle 8-27 abgebildeten Gruppierungen.

**Tabelle 8-27: Erster Entwurf für Gruppierungen einer Typologie.**

Nr	Bezeichnung	Beschreibung	Gruppierung aus Tabelle 8-25 / Fallbeispiel
1	Gesellschafts-orientierte	aggregiertes Modell mit Gesellschaftsbezug	A
2	geleitet mehrperspektivisch Lernende	methodisch korrekte Modellierung unter Berücksichtigung von (mindestens) zwei Perspektiven	B, C
3	sicher mehrperspektivisch Modellierende	methodisch korrekte Vernetzung von drei Perspektiven ohne benannte Herausforderungen	D
4	Modellierende mit Leitperspektive	Ausprägung Haupt- und Nebenperspektive bei der Vernetzung von Perspektiven, Ausprägung Erklärung der Modellstruktur mindestens Ausprägung 2	E
5	Lernende	Ausprägung 1 in der Erklärung der Modellstruktur	IP17-A372
6	Unsichere	Ausprägung 0 in der Erklärung der Modellstruktur	IP17-A379

Die Gruppierung der Fälle über Konfigurationen zeigt, dass die Ergebnisse der Inhaltsanalyse den Ausgangspunkt zur Entwicklung einer Typologie bilden können. Während die Kategorien *Erklärung der Modellstruktur* und *Vernetzung von Perspektiven* als weitgehend unabhängige Größen eine geeignete Basis zur Entwicklung von Typen bilden, ist die Berücksichtigung weiterer Perspektiven in der Typologie zu hinterfragen. Bezüge zwischen Kategorien wurden in den Konfigurationen etwa am Beispiel gesellschaftsbezogener Modellgrößen dargestellt. Im Typologieentwurf in Tabelle 8-27 sind diese Zusammenhänge in Gruppierung A mit einem aggregierten, umwelt- und gesellschaftsbezogenen Modell repräsentiert.

Diese klare gesellschaftlich-ethische Prägung der in Tabelle 8-26 dargestellten Modelle stellt jedoch einen Ausnahmefall dar. Eine Unterscheidung zwischen Modellen mit „öko-sozialem“ oder „wirtschaftlich-technischem“ Schwerpunkt schien also in Anbetracht der geringen Fallzahlen für die erstgenannte Ausprägung nicht zielführend. Somit wird für die Typologie nicht die thematische Ausprägung der Perspektiven, sondern die *Vernetzung der Perspektiven* als strukturelles Merkmal (vgl. Kapitel 8.3.3) zur Beschreibung der Ausprägungen von Mehrperspektivität gewählt.

#### 8.4.5 Zusammenfassung der Inhaltsanalyse und Bezug zur Typenbildung

Die sieben Kategorien der qualitativen Inhaltsanalyse charakterisieren den Modellierungs- und Interaktionsprozess der Teilnehmenden in ihrer Vielfalt.

Mit der Kategorienbildung und anschließenden Zusammenhangsanalyse wurde gezeigt, dass die Kategorien *Erklärung der Modellstruktur* und *Vernetzung von Perspektiven* als weitgehend unabhängige Dimensionen betrachtet werden können. Aufgrund ihres direkten Bezuges zur Forschungsfrage, welchen Beitrag Systemmodellierung zur mehrperspektivischen Systembetrachtung leisten kann, wurden diese Kategorien als Ausgangsdimensionen der Typologie gewählt. Ihre Eignung und Weiterentwicklung ist in Kapitel 9ff. ausgehend von einer Intercoder-Übereinstimmung dargestellt. Weitere Merkmalsausprägungen werden in der Zusammenhangsanalyse zusammenfassend eingebracht.

Erkenntnisse und Limitierungen aus der qualitativen Inhaltsanalyse sind in Tabelle 8-28 zusammengefasst.

Die methodischen Vorkenntnisse bilden teilweise einen erklärenden Rahmen für die Codierung der Merkmalsausprägungen: Teilnehmende, die kein Wirkungsdiagramm einsetzten, entstammten alle Studiengängen ohne Vorkenntnisse in der Systemmodellierung. Diese Teilnehmenden beschäftigten sich in der Modellierung mit Mehrperspektivität, verblieben dabei jedoch auf einer konzeptionellen Ebene ohne Einsatz von Wirkungsdiagrammen. Der Zugang zur Mehrperspektivität kann hierbei über das Mehrfächerstudium oder den Besuch des Hauptseminars *Allgemeine Technologie* begründet sein.

Modelle, die mit Haupt- und Nebenperspektive codiert wurden, wurden alle von (Wirtschafts-)Ingenieurstudierenden erstellt. Es wurde in den Modellen jeweils das Zusammenspiel zwischen wirtschaftlichen und technologischen Einflüssen betrachtet. Hier steht die Hauptperspektive in Übereinstimmung mit dem Studienprofil. Dafür sind zwei Erklärungsmuster denkbar: Die aktive Wahl einer Perspektive, in der sich die Teilnehmenden methodisch verwurzelt sahen oder eine unbewusste Wahl eines bekannten Themenbereichs, der durch die fachliche Prägung im Studium beeinflusst wurde.



**Tabelle 8-28: Zusammenfassende Darstellung von Erkenntnissen und Einschränkungen aus der qualitativen Inhaltsanalyse.**

<b>Erkenntnisse</b>	<b>Limitierungen</b>
Vorkenntnisse können Modellierungsfortschritt und Perspektivität teilweise erklären.	Wegen umfangreicheren Erhebungsdaten war eine Kontextualisierung für wirtschaftlich-technische Ausprägungen besser möglich als für gesellschaftliche und umweltbezogene.
Zwei Leitkategorien wurden als Grundlage für die Typologie identifiziert.	Kategorien, die zusätzlich zu den Leitkategorien gebildet wurden, weisen teilweise Abhängigkeiten untereinander auf, die im Rahmen der Studie nur teilweise erklärbar sind.
Bei den Konfigurationen fanden sich mehrere Gruppierungen als Ausgangspunkt für eine Typenbildung.	Unter Berücksichtigung aller Kategorien umfassen die Gruppierungen nach Konfigurationen jeweils nur wenige Fälle.
Studiengänge bilden nicht die natürliche Gruppierungseinheit für die Typologie. A	Angesichts eines teilweise ausgeprägten Kontextbezugs bezogen auf die vorliegenden Daten sind Ergebnisse nicht verallgemeinerbar. <sup>97</sup>

Bei vielen Fällen boten die erfassten Daten zu Vorkenntnissen keinen direkten erklärenden Rahmen: In den Studiengruppen trat eine Vielfalt von Ausprägungen der Leitkategorien auf (vgl. Kapitel 7.5.2). Insbesondere trugen Vorkenntnisse in der Stock-Flow-Modellierung in der Intervention nur teilweise zu einer korrekten Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen inklusive der Darstellung von Rückkopplungen bei. In welchem Umfang soziokulturelle Hintergründe, Vorkenntnisse oder situationsspezifische Gegebenheiten die Wahl von Themen, Leitfragen und die resultierende Modellierung beeinflussten, ist nicht mit Sicherheit zu klären. Die durchmischte Darstellung bestätigt jedoch das heterogene Bild zwischen Vorkenntnissen und Umgang mit Systemmodellierung, das auch für weniger komplexe Aufgabenstellungen aus den in Kapitel 4.3 dargestellten Studien bekannt ist.

Durchmischte Ausprägungen in der Modellierung und der Mehrperspektivität der Systemsicht über Studiengruppen hinweg zeigen insbesondere auch auf, dass Teilnehmende aus verschiedenen Studiengängen die methodischen und perspektivvernetzende Grundlagen entwickelten, um perspektivische und dynamische Komplexität modellierend zu vernetzen. Zudem zeichnet sich ab, dass die Interaktion zwischen den Teilnehmenden die Weiterentwicklung des Modellierungsverständnisses beeinflussen kann. Der Ansatz scheint somit für die Förderung kommunikativer und selbstreflektierender Systemkompetenzen (vgl. KMK 2017) geeignet. Besonders der Austausch mit anderen Teilnehmenden, der die Darstellung von Systemzusammenhängen als Wortmodell fördert, könnte für die Entwicklung eines

<sup>97</sup> Siehe hierzu auch Kapitel 14.

Systemverständnisses wichtig sein (vgl. Fischer und Gonzalez 2016 in Kapitel 4.3.1). Insgesamt wird bereits durch die kurze Interventionsstudie das Lernen von Systemmodellierung und mehrperspektivischer Systembetrachtung als prozesshafter Vorgang erkennbar, bei dem in einer Lernsituation die Veränderlichkeit von Wirkungsdiagrammen im Mittelpunkt stehen kann.

Die Typologie, die im Folgenden entwickelt wird, ist als Modell zu verstehen, mit dem „Muster und Zusammenhänge im empirischen Material“ (Pröbstle 2014, S. 301) entdeckt und abstrahiert betrachtet werden. Eine Verallgemeinerbarkeit ist mit der vorliegenden Datenlage nicht angestrebt: So ist beispielsweise davon auszugehen, dass die inhaltliche und methodische Bearbeitung der Modellbildung anders ausfallen würde, wenn die fachlichen Vorkenntnisse ausgeprägter wären. Andererseits bildet die Heterogenität des vorliegenden Samples die Vielfalt der Studierenden an Hochschulen ab (vgl. z.B. Barzel et al. 2018, Sternal und Walliser 2020, Hanft et al. 2015), so dass die Erkenntnisse dieser Studie eine Bandbreite möglicher Ausprägungen aufzeigen können.

## 9 Intercoder-Übereinstimmung

Die Intercoder-Übereinstimmung ist ein Mittel zur Überprüfung der internen Validität qualitativer Studien (vgl. Kuckartz 2018, S. 208ff.). Für die vorliegende Studie wurde zunächst ein Kategoriensystem mit strukturalen Kategorien zweitcodiert, um eine Auswahl von Dokumentpassagen aus den Gesamtdaten für die weitere Auswertung vorzubereiten. Weiterhin diente eine Zweitcodierung thematischer Kategorien zum Themenfeld der *Perspektiven im Modell* dazu, übereinstimmende und abweichende Codierungsmuster für „Mehrperspektivität“ zu erkennen, exemplarisch zu beschreiben und daraus Schlussfolgerungen für allgemeinere analytischen Kategorien abzuleiten (vgl. Kuckartz 2018, S. 106).

In diesem Kapitel wird über eine Intercoder-Übereinstimmung die Güte des Kategoriensystems beurteilt. Die Ergebnisse bilden auch eine Entscheidungsgrundlage für die Entwicklung des Merkmalsraums einer Typologie und werden daher bereits an dieser Stelle vorgestellt.<sup>98</sup>

Die Intercoder-Übereinstimmung wurde mit textstellenbezogenen Kategorien durchgeführt und auf den Dokumenttyp Transkripte der Modellvorstellung angewendet. Es wurden 18 Transkripte und somit mehr als die Hälfte der Fälle in die Zweitcodierung einbezogen.

Die Zweitcodierung erfolgte durch Studierende des Studiengangs Ingenieurpädagogik, die teilweise bereits an der Studie teilgenommen hatten. Daher wurden die Transkripte der Studiengangsgruppe Ingenieurpädagogik von der Zweitcodierung ausgeschlossen, um eine Wiedererkennung eigener Dokumenten zu vermeiden.<sup>99</sup> Die Zweitcodierenden wurden durch eine kurze Einführung in die Hintergründe der Studie und eine Vorstellung der Codierregeln für ihre Aufgabe geschult. Der Prozess der Zweitcodierung erfolgte moderiert durch die Forscherin und unterstützt durch eine Präsentation und Arbeitsblätter.

Die von der Forscherin und den Zweitcodierenden eingesetzten Codierregeln sind in Kapitel 6.8.3 dargestellt.

Die Studierenden codierten mit Stift und Papier. Die Ergebnisse wurden anschließend durch die Forscherin in MAXQDA übertragen und mithilfe der MAXQDA-Funktion Intercoder-Übereinstimmung verglichen (vgl. MAXQDA, S. 702ff.).

---

<sup>98</sup> Eine weitere Diskussion der Studiengüte erfolgt in Kapitel 14.

<sup>99</sup> Durch die vorherigen Teilnahme an der Studie besaßen fünf der sechs Zweitcodierenden wiederum inhaltliches Vorwissen, das für die thematische Codierung hilfreich sein kann.

## 9.1 Übereinstimmung bei der Codierung strukturelle Kategorien

Zunächst codierten die Studierenden strukturelle Kategorien, in denen die Phasen der Modellvorstellung markiert wurde.

### 9.1.1 Durchführung und Ergebnisse

Als Codiereinheit für die Intercoder-Übereinstimmung wurde der „Satz“ als einfach identifizierbare Einheit gewählt (vgl. Kuckartz 2018, S. 104).

Die Subkategorien *F-Vorstellung der Leitfrage* und *P-Modellpräsentation* wurden auf Dokumentebene übereinstimmend durch die Forscherin und die Zweitcodierer\*innen codiert (vgl. Abbildung 9-1). Dies ist zu erwarten, da die Vorstellung der eigenen Frage und eine Präsentation der Ergebnisse die grundlegenden Bestandteile der Modellvorstellung darstellen.

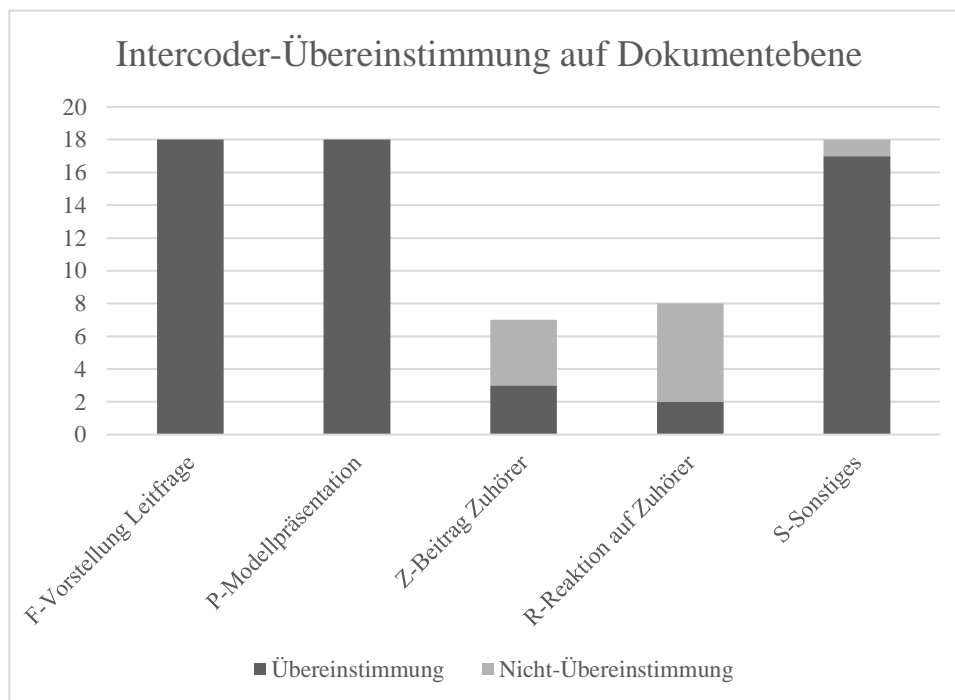


Abbildung 9-1: Intercoder-Übereinstimmung auf Dokumentebene (N = 18).

Abweichungen in der Codierung sind jedoch bei den drei weiteren Subkategorien zu finden. Da jeder Codiereinheit genau ein Code zuzuordnen war und das Codesystem allen Codierer\*innen bekannt war, konnte die Intercoder-Übereinstimmung mit dem Koeffizienten Kappa nach Brennan und Prediger bestimmt werden (vgl. Rädiker und Kuckartz 2019, S. 299ff.).

In der ersten Zeile in Tabelle 9-1 sind die Codierung mit den Hauptkategorien *F-Leitfrage* und *M-Modellpräsentation* verglichen, die in allen Dokumenten codiert wurden. Auf Segmentebene zeigte sich für diese beiden Hauptkategorien die gleiche beobachtete Übereinstimmung, wenn die Codeüberlappung von 80% auf 100% erhöht

wurde. Dies weist darauf hin, dass die gewählte Codiereinheit „Satz“ von allen Zweticodierenden eindeutig identifiziert wurde. In der folgenden Analyse wurde daher zur Berechnung von Kappa eine hohe Codeüberlappung von 95% der Segmente zugrundegelegt.

Es wurde eine hohe prozentuale Übereinstimmung  $p_{observed} = 0,89$  ermittelt, die nach Korrektur zu  $\kappa_n = 0,78$  führte. Ein korrigierter Wert  $\kappa_{korrigiert} = 0,86$  berechnet sich, wenn man berücksichtigt, dass die Zahl der Codierungen sich pro Segment unterscheiden können. Da für diese beiden Kategorien die Anzahl vergebener Kategorien pro Segment jedoch übereinstimmten, war diese Korrektur nicht nötig. Der Vergleich von  $\kappa_n$  mit  $\kappa_{korrigiert}$  illustriert jedoch den ausgeprägten Einfluss der Zufallscodierung bei  $N = 2$  Kategorien: Für  $\kappa_n$  wird  $p_{chance} = \frac{1}{2} = 0,5$  veranschlagt. Demgegenüber reduziert sich bei der korrigierten Berechnung  $p_{chance} = \frac{N}{(N+1)^2} = \frac{2}{9} \approx 0,22$  um mehr als die Hälfte.

**Tabelle 9-1: Berechnung der Intercoder-Übereinstimmung nach Brennan und Prediger.**

$N$	$p_{observed}$	$p_{chance}$	$\kappa_n$	$\kappa_{korrigiert}$	
2	0,89	$\frac{1}{2} = 0,5$	0,78	0,86	Oben: Berechnung für die Subkategorien <i>F-Vorstellung</i> der Leitfrage und <i>M-Modellpräsentation</i> . Unten: Berechnung von $\kappa_n$ für alle fünf strukturalen Kategorien
5	0,83	$\frac{1}{5} = 0,20$	0,78	0,80	

Unter Berücksichtigung aller fünf Kategorien ergab sich eine beobachtete Übereinstimmung  $p_{observed} = 0,83$ . Eine Korrektur des Koeffizienten für zufällige Codierung nach Brennan und Prediger führt für  $N = 5$  Kategorien zu einer Zufallscodierung  $p_{chance} = \frac{1}{N} = \frac{1}{5} = 0,2$ . Hiermit berechnet sich eine Intercoder-Übereinstimmung nach Brennan und Prediger von

$$\kappa_n = \frac{p_0 - p_c}{1 - p_c} = \frac{0,83 - 0,2}{1 - 0,2} = 0,78.$$

Unter Bezug auf die Benchmark-Hinweise für Connans Kappa, die Rädiker und Kuckartz (2019) auch für die Berechnung der Intercoder-Übereinstimmung nach Brennan und Prediger einsetzen (vgl. Rädiker und Kuckartz 2019, S. 303), ist der Wert 0,78 mit dem Benchbark nach Landis und Koch als „substantial“ zu bewerten (vgl. Landis und Koch 1977).<sup>100</sup>

<sup>100</sup> Der korrigierte Wert wird in diesem Fall mit  $p_{chance} = \frac{N}{(N+1)^2} = \frac{5}{36} \approx 0,14$  zu  $\kappa_{korrigiert} = 0,80$  berechnet und liegt nahe des Benchmarks „almost perfect“, der ab einer Übereinstimmung von 0,81 erreicht wird.

### 9.1.2 Diskussion

Mit der Intercoder-Übereinstimmung wurde für ausgewählte strukturelle Kategorien die Zuverlässigkeit der Codierung durch Berechnung einer statischen Kenngröße überprüft (vgl. MAXQDA).

Bei der Intercoder-Codierung sollen mindestens 10 % des Datenmaterials berücksichtigt werden, wobei das Datenmaterial eine ausreichende Zahl zu erwartender Codierungen erfassen soll (vgl. Rädiker und Kuckartz 2019, S. 290). Durch die Auswahl von 18 der 30 in der Studie berücksichtigten Fälle wurden aus den vorliegenden Transkripten ein „breites Spektrum des Datenmaterials“ (Rädiker und Kuckartz 2019, S. 290) bezüglich inhaltstragender Passagen zweitcodiert. Die Transkripte umfassten durchschnittlich 24 zu codierende Segmente, wobei zur Vergleichbarkeit der Codierungsaufgabe Transkripte mit weniger als 18 bzw. mehr als 34 Segmenten von der Zweitcodierung ausgeschlossen wurden.

Die gewählten Codes erwiesen sich über die Transkripte hinweg als vergleichbar. Besonders bei den inhaltstragenden Subkategorien *F-Vorstellung der Leitfrage*, sowie *M-Modellvorstellung* wurden gute Übereinstimmungen erzielt (vgl. Tabelle 9-1). Bei den anderen Kategorien war die Übereinstimmung geringer. Dies lässt sich auf Dokumentebene über eine Analyse der Summary Grids (vgl. Abbildung 9-2) und einem Abgleich mit den Codierregeln einordnen:



Abbildung 9-2: Summary Grid zur Darstellung der Codierungen zweier Codes.

Jede Spalte repräsentiert ein Transkript. Quadrate zeigen an, dass in einem Transkript die Codierung mindestens einmal vorgenommen wurde.

Aus Abbildung 9-2 ist ersichtlich, dass die Codes *Z-Beitrag Zuhörer* und *R-Reaktion auf Zuhörer* von den Zweitcodierer\*innen häufiger eingesetzt wurden als von der Forscherin. Hierbei wurden die in Tabelle 6-5 dargestellten Codierregeln in mehreren Fällen durch Zweitcodierende nicht eingehalten: Gemäß den Codierregeln sollte im Summary Grid in Abbildung 9-2 der Code *R-Reaktion auf Zuhörer* in einem Dokument nicht allein erscheinen, sondern auf die Codierung *Z-Beitrag Zuhörer* folgen. Von diesem Muster wurde durch die Zweitcodierenden in vier Fällen

abgewichen. Weiterhin wurden in sieben Dokumenten Beiträge durch Zuhörer\*innen oder Reaktionen codiert, die von der Forscherin nicht als solche eingeordnet wurden. Dies lässt sich dadurch erklären, dass Verständnissignale wie „Mh“ und „Ja“ nicht mit dem Code *S-Sonstiges* versehen wurden, der gemäß Codierregeln passend war (vgl. Tabelle 6-5).

Da ein Vertauschen der Codierungen *S-Sonstiges* mit einer anderen Kategorie zu einer zweifachen Fehlcodierung führt, erklärt sich die geringe Übereinstimmung der Codes auf Dokumentebene, die bei *Z-Beitrag von Zuhörern* bei ca. 43% und bei *R-Reaktion auf Zuhörer* bei nur 25% liegt.

Für die abweichende Codierungen lassen sich verschiedene Erklärungsansätze formulieren: Die Zweitcodierer\*innen wurden erst während der Veranstaltung in das Prinzip der Codierung eingewiesen. Möglicherweise waren die Codebeschreibungen für eine Gruppe von Zweitcodierenden, die mit der Codierung erst im Rahmen der Veranstaltung vertraut wurde, nicht angemessen formuliert. So hätte beispielsweise eine explizite Benennung von Beispielen zu „organisatorischen Äußerungen, Zwischengesprächen und Verständnissignalen“ in der Sammelkategorie *S-Sonstiges* zu einer vereinfachten Einordnung beitragen können. Fehlende Erfahrung der Codierenden könnten durch eine intensivere Übungsphase vor Beginn der übereinstimmenden Codierung verringert werden. Zudem war die Häufigkeit der verschiedenen Codes nicht ausgewogen: Die Codierungen *Z-Beitrag von Zuhörern* und *R-Reaktion auf Zuhörer* erfolgte bei Zweitcodierenden durchschnittlich weniger als einmal pro Dokument. Dies kann die Rate der Fehlcodierungen beeinflussen. Bei einer geringeren Anzahl an Gesamtcodierungen fällt eine einzelne abweichende Codierung stärker ins Gewicht, da sie, relativ betrachtet, einen höheren Anteil an den Codierungen ausmacht.

Inhaltlich stellten die Fehlcodierungen für den weiteren Forschungsprozess kein größeres Problem dar, da für die Typenbildung verwendete Beiträge vorwiegend dem strukturalen Code *M-Modellvorstellung* zuzuordnen sind.

Für die weitere Auswertung wurden, ausgehend von der Intercoder-Übereinstimmung der strukturalen Kategorien, folgende Entscheidungen getroffen:

- Die strukturalen Kategorien *F-Vorstellung der Leitfrage* und *P-Modellpräsentation* bildeten die Grundlage zur Auswahl von Textsequenzen für die weitere Codierung.
- Transkriptsegmente ohne inhaltstragende Informationen wurden in der weiteren Codierung ausgespart. Die Entwicklung des Kategoriensystems auf fallbezogener Ebene wurde primär mit den Systemmodellen und Transkripten zur Modellvorstellung durchgeführt.

- Für Textpassagen, die Interaktion ausdrücken (z.B. Fragen, Bestätigung, etc.) wurde eine eigene Kategorie *Interaktion* in der qualitativen Inhaltsanalyse eingeführt, über deren weitere Nutzung im Forschungsprozess entschieden wurde.

## 9.2 Vergleich der Codierung thematischer Kategorien

Mehrperspektivität als Forschungsgegenstand kann im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse mithilfe der Überlappung von Codierungen zu verschiedenen Perspektiven dargestellt und untersucht werden. Hierbei sind textstellenbezogene und fallbezogene Codierungen denkbar. In der vorliegenden Studie war die textstellenbezogene Codierung der deduktiven thematischen Kategorien *Wirtschaft*, *Technik*, *Umwelt*, sowie *Gesellschaft und Politik* Ausgangspunkt zur Ableitung von Subkategorien auf Fallebene.

Für die Codierung thematischer Kategorien ist, besonders bei Modellen mit mehrperspektivischem Ansatz, eine Überlappung von Codes in Transkripten zu erwarten. Die Zuordnung unter Codierenden kann dabei abhängig vom Vorwissen und vom verfügbaren Kontext variieren: Während die Forscherin Zugang zu den Informationstexten hatte, welche die inhaltliche Informationen zu den vier genannten Perspektiven umfassten, wie sie den Studienteilnehmer\*innen präsentiert worden waren, war diese Information für Zweitcodierende nur dann verfügbar, falls sie selbst an der Studie teilgenommen hatten und sich noch an inhaltliche Zusammenhänge erinnerten. Anstelle die Übereinstimmung zwischen Codierungen quantitativ zu messen, wurde daher für die Kategorie *Vernetzung von Perspektiven* auf die qualitative Beschreibung von Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen Codierungen gesetzt, um einen Eindruck über Übereinstimmungen und Abweichungen von Codierungen zu erhalten.

### 9.2.1 Durchführung und Ergebnisdarstellung

Die Zweitcodierer\*innen codierten ein bis zwei Texte mit den vier thematischen Subkategorien der Hauptkategorie *Perspektiven im Modell*. Eine Mehrfachcodierung war explizit zugelassen. Es wurden alle Textstellen thematisch codiert. Auch das Setzen eines Null-Codes zur Nicht-Codierung war möglich. Unter den elf thematisch zweitcodierten Dokumenten wurden drei Dokumente doppelt zweitcodiert.

In Tabelle 9-2 ist eine Auswahl von Begriffen dargestellt, die von der Forscherin und zwei studentischen Codierer\*innen übereinstimmend codiert wurden.



**Tabelle 9-2: Beispiel für Begriffe, die thematisch übereinstimmend codiert wurden.**

Perspektive	Begriff
Gesellschaft und Politik	Gesellschaftliche Nachfrage
Technik	Regelleistung
Wirtschaft	Nachfrage Förderung (Strom-)Preissteigerung

Es handelt sich um Begriffe, deren Attribute recht eindeutig auf die angegebene Perspektive verweisen.

Hier war die Codierung von Sätzen mit den beschriebenen Begriffen offenbar auch für Codierende ohne spezifisches fachliches Hintergrundwissen möglich. Eine Erklärung hierfür ist, dass alle in Tabelle 9-2 dargestellten Begriffe im Kontext eine klare Assoziation mit der jeweiligen Perspektive hervorrufen, die teilweise bereits im Begriff selbst semantisch verankert ist.

Die Forscherin vergab durchschnittlich mehr Codierungen pro Dokument als die studentischen Codierer\*innen. Die Subkategorie *Umwelt* wurde durch die Forscherin deutlich häufiger codiert als durch die Zweitcodierer\*innen; die Subkategorie *Gesellschaft und Politik* wiederum wurde von den Zweitcodierenden häufiger codiert als von der Forscherin.<sup>101</sup>

Die Codes *Wirtschaft* und *Technik* waren in den meisten zweitcodierten Modellen anteilig am häufigsten vertreten. Bei der Codierung der Subkategorien *Wirtschaft* und *Technik* herrschte zudem eine stärkere Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweitcodierungen als bei den Subkategorien *Gesellschaft* und *Umwelt*.

Tabelle 9-3 stellt eine Auswahl an Begriffen dar, die von Forscherin und mindestens einer zweitcodierenden Person unterschiedlich codiert wurden.

Die Abweichungen in der Codierung sind bei manchen Begriffen dadurch zu erklären, dass sie mit einem interdisziplinären Themenfeld assoziiert werden können: So kann die Entwicklung verfügbarer Arbeitsplätze auf dem Land als sozialpolitische Fragestellung als politisch-gesellschaftliches oder als wirtschaftliches Thema aufgefasst werden; Förderungen bzw. Subventionen sind wirtschaftspolitische Instrumente zur Beeinflussung des Ausbaus an regenerativen Energien (vgl. Becker 2008, S. 137ff., Mause 2018, S. 1261ff.).

---

<sup>101</sup> Vgl. Anhang H.

**Tabelle 9-3: Beispiele für Begriffe, die mehrdeutige Codierung zulassen.**

Begriff	Themenfelder	Fall
Arbeitsplätze	Gesellschaft und Politik, Wirtschaft	IDM16-M102
Einfluss	neutral, Gesellschaft	IDM16-A282
Substrat	Technik, Umwelt Wirtschaft	IDM17-B395, IDM17-G784 und MSE16-W123
Energiepflanzenanbau	Technik, Umwelt	IDM16-M102
Ertrag	Umwelt, Technik	IDM16-A282
Abfallstoffe	Umwelt, Gesellschaft	IDM16-A282

Die Begriffe Substrat, Abfallstoffe, Ertrag und Energiepflanzenanbau lassen sich als Elemente eines Anbau-, Produktions- und Logistikprozesses beschreiben (vgl. KTBL 2013, S. 18ff.), der gerade im Sinne einer mehrperspektivischen Betrachtung nicht nur als rein technischer oder rein wertschöpfender Prozess, sondern auch unter Berücksichtigung des Umwelt- und Ressourcenschutzes betrachtet werden kann (vgl. Pietzsch 2020, S. 23ff.). Begriffe wie „Einfluss“ oder „Ertrag“ wiederum sind so allgemein formuliert, dass sie sich ohne entsprechenden Kontext verschiedenen Perspektiven zuordnen lassen.

### 9.2.2 Diskussion

Die höhere Anzahl der Codierungen durch die Forscherin lässt sich über einen höheren Anteil an Mehrfachcodierungen erklären. Die Zweitcodierenden versahen auf inhaltlicher Ebene größere Sinneinheiten als den Satz mit einem perspektivischen Code und verzichteten auf eine Codierung darin eingebetteter weitere Perspektiven. Diese Einfachcodierung stellt verglichen mit einer Mehrfachcodierung das methodisch einfachere und zeitlich schnellere Vorgehen dar.

Auch das Hintergrundwissen kann eine Rolle bei der Zuordnung von Perspektiven spielen: So kann die deutlich seltenere Codierung von umweltbezogenen Größen durch die studentischen Zweitcodierer\*innen in Zusammenhang mit den Vorkenntnissen der Teilnehmenden eingeordnet werden: Bei den Zweitcodierenden mit Studienfach Ingenieurpädagogik dürften der fachliche Bezug und damit auch die Assoziation von Zusammenhängen im Umfeld technischer und wirtschaftlicher Fragestellungen besser ausgeprägt sein, als der zum Umweltschutz.

Eine häufigere Codierung von *Gesellschaft und Politik* durch die Zweitcodierenden kann darauf hinweisen, dass Modellgrößen und Prozesse von den Lehramtsstudierenden aus einer gesellschaftlichen Perspektive betrachtet wurden, während die Forscherin eher umweltbezogene Themen codierte.

Um dies weiter zu erklären, müsste der Einfluss des inhaltlichen Vorwissens bzw. des assoziierten Kontexts auf das Codierverhalten der untersucht werden. Auch eine Schulung der Zweitcodierenden durch inhaltlichen Einführung in die Interventionsdokumente könnte eine höhere Übereinstimmung der Codierung bewirken.

Zusätzlich zur Zweitcodierung durch weitere Personen kann eine Einordnung der thematischen Codierungen im Transkript durch Vergleich mit dem zugehörigen Modell der Studienteilnehmer\*innen erreicht werden. Dort sind Vernetzungen zwischen Modellgrößen graphisch dargestellt, während im Transkript eine lineare Darstellung stattfindet, die Relationen möglicherweise nicht direkt erkennen lässt. Der Vergleich der textstellenbezogene Codierung von Transkriptpassagen der Modellvorstellung und von Modellgrößen wurde ab der zweiten Iteration als Ausgangspunkt für eine Kategorienbildung auf Fallebene gewählt. Weiterhin wurden Kategorien eingeführt, um den *Ursprung der Modellgrößen* zu beschreiben (Informationstexte oder andere Quellen) und die *Aggregationsebene* des Modells darzustellen (vgl. Kapitel 8.3.4 und 8.3.5). Diese Kategorien ermöglichten die Darstellung von Unterschieden auf abstrahierter, struktureller Ebene.

Um bei Modellen mit unterschiedlich vielen Modellgrößen eine Vergleichbarkeit zu bewahren und eine uneindeutige Zuordnung durch Mehrfachcodierung zu vermeiden, wurde für die Codierung von Perspektiven in den Modellen der Teilnehmer\*innen die Regel formuliert, dass jede Modellgröße nur mit einem Subcode zur Perspektive zu codieren sei. Für unklare Codierungen der Modellgrößen wurde die textstellenbezogene Subkategorie *unklare Zuordnung vorhanden* eingeführt. Die textstellenbezogenen thematischen Kategorien wurden im weiteren Auswertungsprozess in analytische Kategorien auf Fallebene überführt, welche die Anzahl bzw. Vernetzung der Perspektiven beschreiben und – ggf. nach Austausch der Codierenden zum Analyseprozess - intersubjektiv übereinstimmend codierbar sein sollten (vgl. Kuckartz 2018, S. 146).

Zuletzt soll die übereinstimmende Dreifachcodierung der Modellgröße *Substrat* eingeordnet werden (vgl. Tabelle 9-3). Diese Mehrfachcodierung stellt exemplarisch dar, wie eine Modellgröße Assoziationen zu verschiedenen Perspektiven hervorruft. Es war Zweitcodierenden ohne tiefere fachliche Kenntnisse möglich, in dieser Modellgröße verschiedene Perspektiven zu erkennen. Solche „intrinsisch mehrperspektivischen“ Modellgrößen bergen das Potenzial, eine mehrperspektivische Betrachtung aktiv zu fördern und könnten ins Zentrum einer mehrperspektivischen Systemmodellierung gesetzt werden (vgl. Kapitel 15.2).

### 9.3 Zusammenfassung zur Intercoder-Übereinstimmung

Mit der Intercoder-Übereinstimmung wird die „Zuordnung von Kategorien zu Texten [und] Bildern [...]“ (Rädiker und Kuckartz 2019, S. 288) zwischen verschiedenen Codierer\*innen untersucht.

Die Arbeit mit Transkripten der Modellvorstellungen stellt eine kontrollierte „Analyse des Gesprochenen“ (Rädiker und Kuckartz 2019, S. 86ff.) dar, die einen Ausgleich zwischen Verlust von Information und Interpretation darstellt. Es konnte für die strukturellen Kategorien eine gute Übereinstimmung nachgewiesen werden, die als Basis für weiteren Auswahl- und Codierungsprozess gewählt wird.

Mit der Zweitcodierung der Subkategorien zur Kategorie *Perspektiven im Modell* wurde aufgezeigt, dass Kontextwissen für die Zuordnung dieser thematischen Codes relevant ist.

Es wurde durch die Zweitcodierenden bestätigt, dass die Perspektiven *Wirtschaft* und *Technik* in mehr Modellen zu finden waren als die Perspektive *Gesellschaft*. Dies kann in Bezug auf verfügbares Vorwissen der Teilnehmenden bei der Ableitung weiterer Kategorien auf Fallebene berücksichtigt werden.

Die Subkategorie *Unklare Zuordnung* dokumentiert Unschärfen in der Codierung von Modellgrößen. Sie ermöglicht, beim Übergang von der textstellen- zur fallbezogenen Codierung auf Textstellen bzw. Modellelemente zurückzukehren, um die Einordnung auf Fallebene zu überprüfen.

Um den Einfluss des Vorwissens der Codierenden auf die thematische Einordnung zu reduzieren, soll der validierende Charakter verschiedener Dokumenttypen (z.B. sich gegenseitig ergänzende Informationen von Modellen und Transkripten zur Modellvorstellung) genutzt werden, um den Sinn aus Sicht der Teilnehmenden besser zu erfassen. Zudem kann durch die Betrachtung eines Gesamtbildes der Einfluss situationsbedingter Komponenten, wie Charakteristika des Gesprächsverlaufs der Modellvorstellung, die nicht genauer eingeordnet werden können, reduziert werden. Für die Ableitung eines Kategoriensystems auf Fallebene wurde daher die Entscheidung getroffen, Dokumente und Interventionsphasen, für die nicht bei allen Teilnehmergruppen durchgängig Daten verfügbar waren, von der weiteren Analyse auszuschließen.

## 10 Methodik der empirisch begründeten Typenbildung

In diesem Kapitel werden Formen der empirisch begründeten Typenbildung dargestellt und das typenbildende Verfahren der vorliegenden Studie beschrieben. Die anschließenden Kapitel umfassen die Darstellung der Typologie (Kapitel 11), sowie die Kontextualisierung der Typen (Kapitel 12 und 13).

### 10.1 Einführung in die Typenbildung

Mit einer Typologie werden mehrdimensionale Muster in einem Gegenstands- oder Handlungsbereich aufgezeigt. So können darstellende, erklärende oder verstehende Zugänge zur Wirklichkeit erschlossen werden (vgl. Tippelt 2010, S. 124f., Kuckartz 2018, S. 143ff.). Die Entwicklung von Typen grenzt sich von einer Bildung von Klassen (Klassifikation) dadurch ab, dass die Zuordnung von Merkmalen nicht ausschließlich, vollständig oder eindeutig sein muss. Stattdessen beruhen Typologien auf komplexen Vergleichsdimensionen, die mit Bezug auf empirische Daten ermittelt werden (vgl. Tippelt 2010 S. 116f., Käßlinger 2011, S. 23).

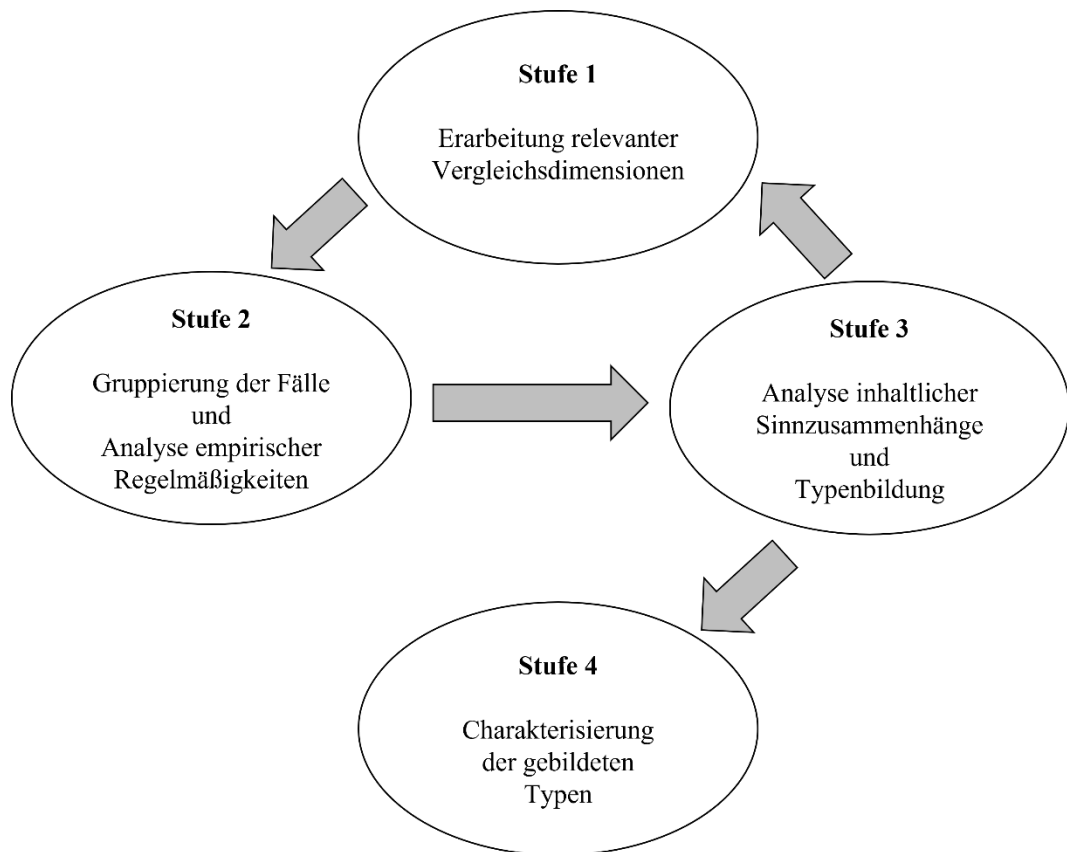
Die Gruppierungen, welche die Grundlage einer Typologie bilden, sind intern homogen, „denn auf der ‚Ebene des Typus‘ müssen sich die Fälle weitgehend ähneln“ (Kelle und Kluge 2010, S. 91), während die externe Heterogenität die „Varianz im Datenmaterial“ (ebd., S. 91) auf Ebene der Typologie als Ganzes beschreibt.

Die „empirisch begründete Typenbildung“ (Kelle und Kluge 2010, S. 92) nach Kelle und Kluge stellt ein klassisches Verfahren der Typenbildung dar, das Tippelt als „idealtypische[n]‘ Weg bei der Konstruktion einer Typologie“ beschreibt (Tippelt 2010, S. 115 ).

### 10.2 Empirisch begründete Typenbildung nach Kelle und Kluge

Die *empirisch begründete Typenbildung* nach Kelle und Kluge (2010) wird in einem mehrstufigen Modell dargestellt (Abbildung 10-1).

Hierbei sind die Stufen 1) *Dimensionserarbeitung*, 2) *Fallgruppierung*, 3) *Analyse inhaltlicher Sinnzusammenhänge und Typenbildung* in zyklischer Form miteinander verbunden. Die letzte Stufe 4) *Charakterisierung der Typen* bildet den Abschluss dieses Modells, das mit seiner konzeptionellen Klarheit und seinem zyklischen Charakter einen Ausgangspunkt für weitere Auswertungsverfahren der qualitativen Sozialforschung bildet (vgl. Kuckartz 2018, S. 144).

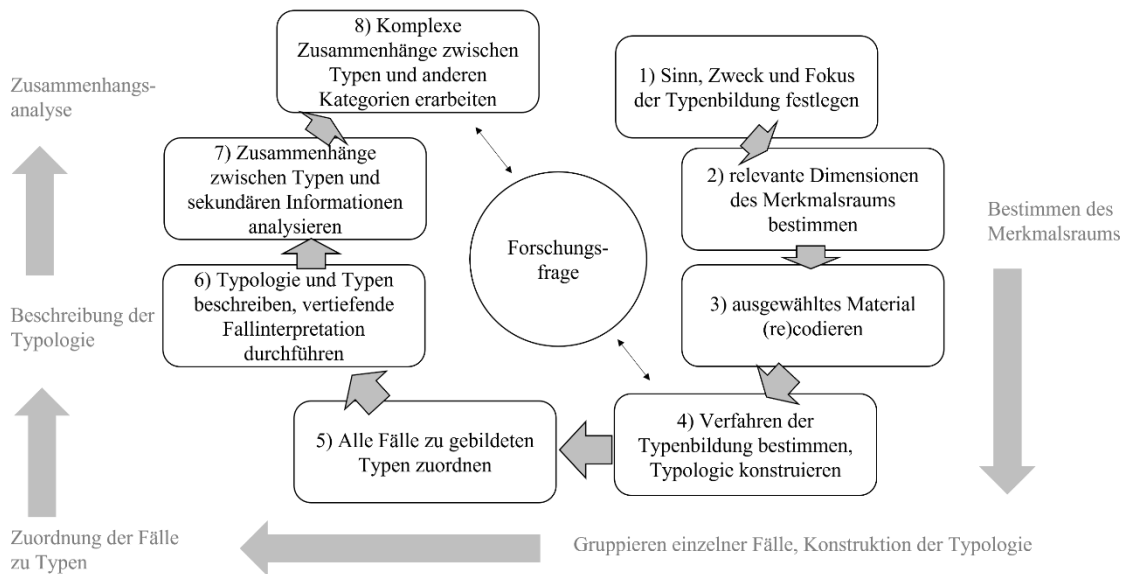


**Abbildung 10-1:** „Stufenmodell empirisch begründeter Typenbildung“ (verändert nach Kelle und Kluge 2010, S. 92).

### *10.2.1 Typenbildendes Verfahren nach Kuckartz*

Das Ablaufmodell der typenbildenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) ist eng auf die Forschungsfrage bezogen (vgl. Abbildung 10-2).

Dieses Modell der Typenbildung stellt bei der Auswertung von Forschungsprojekten den Bezug zur Forschungsfrage ins Zentrum. „Überlegungen über Ziel und Zweck der Typenbildung“ (Kuckartz 2018, S. 152), sowie die qualitative Inhaltsanalyse als methodisch kontrollierte Basis zur Ableitung von Typen bilden den Einstieg zur Entwicklung und Ausdifferenzierung von Merkmalen, Zuordnung von Fällen, sowie einer Beschreibung und Analyse von Zusammenhängen „zwischen Typen und anderen Kategorien“ (Kuckartz 2018, S. 159).



**Abbildung 10-2: Schematische Darstellung der typenbildenden Inhaltsanalyse (innerer Zyklus) eingebettet in das allgemeine Ablaufschema inhaltsanalytischer Verfahren (äußerer Zyklus) (eigene Darstellung, verändert nach Kuckartz 2018, S. 148 und S. 153).**

Insbesondere kann die typenbildende Inhaltsanalyse auf eine vorher durchgeführte qualitativen Inhaltsanalyse aufbauen. Dabei können fallbezogene Kategorien des Kategoriensystems eine Typenbildung auf Individualebene vorbereiten (vgl. Kuckartz 2010, S. 100). Mit der hoch aggregierten Darstellung der Typenbildung kann auch die Zusammenschau von Daten erreicht werden (Kuckartz 2010, S. 107, S. 213, Kelle und Kluge 2010, S. 106). Abbildung 10-2 stellt die typenbildende Analyse nach Kuckartz im Kontext allgemeiner Charakteristika typenbildender Verfahren dar.

### 10.2.2 Polythetische Typologien

Empirisch begründete Typologien sind polythetisch, also merkmalsheterogen. Das heißt, „die zu einem Typ gehörenden Individuen sind bezüglich der Merkmale des Merkmalsraums nicht alle völlig gleich, sondern einander nur besonders ähnlich“ (Kuckartz 2018, S. 151). Die Typen werden „durch systematisches, geistiges Ordnen“ (ebd., S. 151ff.) gebildet, wozu Fallzusammenfassungen gruppiert werden (vgl. ebd., S. 155).<sup>102</sup>

<sup>102</sup> Alternativ ist auch auf Statistik basierende Bildung von Gruppen bzw. Typen über clusteranalytische Verfahren möglich (vgl. Kuckartz 2018, S. 151).

### *10.2.3 Einordnung der eigenen Typologie*

Die Typologie, die im Rahmen dieser Studie entwickelt wird, kann mit Bezug auf das in Abbildung 10-2 dargestellte Schema typenbildender Verfahren eingeordnet werden:

Die Typenbildung erfolgt prinzipiell nach dem allgemeinen Schema von Kelle und Kluge (2010). Aus der typenbildenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz wird die Entwicklung des Merkmalsraums aus fallbezogenen Kategorien übernommen, die in der qualitativen Inhaltsanalyse bestimmt wurden (vgl. Kapitel 7 und 8). Auch der enge Bezug zur Forschungsfrage, sowie die Zuordnung von Fällen zu Typen ausgehend von Fallzusammenfassungen entsprechen methodisch dem typenbildenden Verfahren nach Kuckartz (2018).

Die Typologie gruppiert Studienergebnisse einzelner Personen und ist somit auf einer Individualebene einzuordnen. Als empirisch begründete Typologie ist sie polythetisch. Sie kann als zweidimensionales Modell verstanden werden, bei der Fälle, die einem Typus zugeordnet sind, bezüglich weiterer Ausprägungen unterschiedliche Merkmale aufweisen können. Zusammenhänge zwischen Typen und weiteren Merkmalen werden in einer Zusammenhangsanalyse mit anderen erhobenen Daten bzw. Kategorien der Inhaltsanalyse erschlossen.



## 11 Entwicklung der Typologie

In diesem Kapitel wird die empirisch begründete Typologie dargestellt, die aus dem Kategoriensystem der qualitativen Inhaltsanalyse entwickelt wurde.

### 11.1 Beschreibung des Merkmalsraums

Die Entwicklung des Merkmalsraums erfolgte ausgehend von dem in Kapitel 8 beschriebenen Kategoriensystem. Der Merkmalsraum wird durch die Dimensionen *Vernetzung von Perspektiven* und *Entwicklung der Modellierungskennntnisse* aufgespannt und repräsentiert verschiedene Arten, wie Systemmodellierung zur Darstellung von Mehrperspektivität genutzt werden kann.

Verglichen mit den Leitkategorien der qualitativen Inhaltsanalyse (vgl. Kapitel 8.3), welche die Grundlage für den Merkmalsraums der Typologie bilden, wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Für das Merkmal *Entwicklung der Modellierungskennntnisse* wurde die Datenbasis im Vergleich zum Kategoriensystem erweitert: Fallübergreifend übereinstimmende Muster in den Darstellungen von Pretest, Intervention und Posttest ermöglichten es, mit dem Merkmal *Entwicklung der Modellierungskennntnisse* einen gewissen Lernfortschritt im Verlauf der Intervention abzubilden, anstelle ausschließlich die Ausprägung während der Intervention zu nutzen. Die Dimension *Entwicklung der Modellierungskennntnisse* wurde in fünf Stufen untergliedert und erweitert die in der Inhaltsanalyse identifizierte Kategorie *Erklärung der Modellstruktur* (vgl. Kapitel 8.3.1).

Das Merkmal *Vernetzung von Perspektiven* wurde auf die drei Ausprägungen *eine Perspektive (1)*, *Haupt- und Nebenperspektive (1,5)*, sowie *zwei oder mehr Perspektiven (2+)* reduziert. So wurde die in Kapitel 8.3.3 beschriebene Herausforderung in der Unschärfe in der Codierung von Mehrperspektivität reduziert. Diese Zusammenfassung von Subkategorien ist auch mit Bezug auf die Forschungsfrage plausibel, da Teilnehmende die Modellierungsaufgabe bereits dann mehrperspektivisch lösen, wenn sie mindestens zwei Perspektiven vernetzen.

Mit der beschriebenen Untergliederung der Vergleichsdimensionen wurde zudem am Ende des zyklischen Prozesses erreicht, dass Gruppierungen keine Einzelfälle umfassten. So wurden Typen gebildet, die „interne[...] Homogenität auf Ebene des Typs“ und „externe[...] Heterogenität auf Ebene der Typologie“ (vgl. Feld 2011, S. 19) aufweisen.

11.1.1 Beschreibung des Merkmals Entwicklung der Modellierungskennntnisse

Die Merkmalsausprägungen des Merkmals *Entwicklung der Modellierungskennntnisse* sind in Tabelle 11-1 abgebildet.

**Tabelle 11-1: Ausprägungen des Merkmals *Entwicklung der Modellierungskennntnisse*.**

Stufe	Benennung	Erläuterung
1	kein Einsatz von Wirkungsdiagrammen	Während der Intervention, sowie in Pre- und Posttest werden keine Wirkungsdiagramme eingesetzt oder der Einsatz erfolgt an einer Stelle ansatzweise mit fehlerhafter Methodik.
2	schrittweiser Einsatz von Wirkungsdiagrammen bis Posttest	In der Intervention werden Wirkungsketten ohne Rückkopplungen eingesetzt. Rückkopplungen werden erst im Posttest identifiziert.
3	in der Intervention lernend I	In der Intervention werden Wirkungsdiagramme mit Rückkopplungen eingesetzt. Es wird jedoch nicht explizit auf die Rückkopplungen hingewiesen (keine graphische Hervorhebung bzw. verbale Benennung in der Modellvorstellung). Im Posttest wird meist ein Wirkungsdiagramm erstellt.
4	in der Intervention lernend II	In der Intervention werden Wirkungsdiagramme mit Rückkopplungen erstellt. Auf die Dynamik der Rückkopplungen wird in der graphischen und / oder mündlichen Darstellung eingegangen. Im Posttest wird meist ein verhaltenserklärendes Modell (z.B. Wirkungsdiagramm) gezeichnet.
5	Vorkenntnisse vernetzend	Bereits im Pretest werden verhaltenserklärende Zusammenhänge mit nichtlinearen Charakteristika abgebildet. In der Intervention wird ein Wirkungsdiagramm erstellt, bei dem Rückkopplungen markiert sind. Meist wird dabei bei der Konzeption des Modells auf Vorerfahrung in der Modellierung zurückgegriffen. Im Posttest werden die Zusammenhänge durch ein verhaltenserklärendes Modell (Wirkungsdiagramm oder Blockschaltdiagramm) abgebildet.

Die Ausprägungen der Dimension *Entwicklung der Modellierungskennntnisse* lassen sich wie folgt zusammenfassen: Der fehlende Einsatz von Wirkungsdiagrammen wird mit *Stufe 1* codiert. Fälle, die in der Intervention Wirkungsketten ohne Rückkopplungen und im Posttest Wirkungsdiagramme einsetzen, werden der *Stufe 2* zugeordnet. Bemerkenswert hierbei ist der empirische Befund, dass alle Personen, die Wirkungsketten im Modell einsetzen, im Posttest Modelle mit rückkoppelnden Relationen erstellen. Die Fälle, die bereits in der Intervention ein Modell mit Rückkopplungen erstellten, wurden in drei weitere Stufen unterteilt: Während in *Stufe 3* Rückkopplungen auf dem gezeichneten Modell der Intervention dargestellt sind, sind diese in *Stufe 4* auch explizit graphisch oder verbal markiert.

*Stufe 5* beschreibt Modelle von Teilnehmenden, bei denen zusätzlich bereits im Pretest Vorwissen in der Systemmodellierung eingesetzt wird oder nichtlineare Zusammenhänge aufgezeigt werden.

### 11.1.2 Beschreibung des Merkmals Vernetzung von Perspektiven

Die Dimension *Vernetzung von Perspektiven* erfasst, in welcher Vernetzung Perspektiven im Modell der Intervention berücksichtigt werden. Es wurden die in Tabelle 11-2 beschriebenen Ausprägungen identifiziert. Die Ausprägungen entsprechen, bis auf die Zusammenfassung von zwei oder mehr Perspektiven zu einer gemeinsamen Merkmalsausprägung, den Kategorien der Inhaltsanalyse.

**Tabelle 11-2: Ausprägungen des Merkmals *Vernetzung von Perspektiven*.**

Stufe	Benennung	Erläuterung
1	eine Perspektive	Modelle, bei denen in der Modellierung und Modellvorstellung eine Perspektive betrachtet wird.
1,5	Haupt- und Nebenperspektive	Modelle, bei denen eine Hauptperspektive prägend ist, welcher der/die Modellierer/in die zentral berücksichtigt und mit der er/sie sich fachlich "identifiziert". Eine zweite Perspektive wird der Hauptperspektive untergeordnet. Der Nachweis zum fachlichen Bezug erfolgt über die erhobenen Daten.
2+	zwei Perspektiven	Modelle, bei denen in der Modellierung und Modellvorstellung zwei oder mehr Perspektiven berücksichtigt sind und miteinander vernetzt sind.

### 11.1.3 Vom Merkmalsraum zur Typenbildung

Die Einordnung der Fälle im Merkmalsraum erfolgte in Anlehnung an Kuckartz 2018, S. 150ff. ausgehend von Fallzusammenfassungen. Darin sind das Thema der Leitfrage, die Vernetzung der Perspektiven und die Entwicklung der Modellierung zusammengestellt. Tabelle 11-3 zeigt exemplarisch zwei Fallzusammenfassungen von unterschiedlichen Modellen.

**Tabelle 11-3: Exemplarische Darstellung zweier Fallzusammenfassungen.**

Pseudonym	Perspektiven	Entwicklung Modellierungskennnisse
IDM16-S359	IDM16-S359 untersucht, wie der Bedarf an Regelleistung die installierte Leistung von Biogasanlagen beeinflusst. Es werden technische, wirtschaftliche und ressourcenbezogenen Größen in ähnlichem Umfang ins Modell integriert und miteinander vernetzt.	Bereits im Pretest kommt ein Wirkungsdiagramm zum Einsatz. Das Interventionsmodell umfasst ein umfangreiches Wirkungsdiagramm mit Rückkopplungen und identifizierten Zeitverzögerungen; zudem werden explizit eine Kapazitätsgrenzen und die Identifikation einer Zielgröße markiert. Auch das Posttest-Modell ist als Wirkungsdiagramm ausgewertet. In der Modellierung werden keine Herausforderungen benannt.
PHT16-N102	PHT16-N102 beschäftigt sich mit der nachhaltigen Verteilung von Anbauflächen für Bioenergieträger, Tiernahrung und Nahrung direkt für den Menschen. Es werden alle vier Perspektiven im Modell angeschnitten, um die Nachhaltigkeit der Landnutzung zu untersuchen. Hierbei wird der in der Studie bereitgestellte Kontext überschritten und assoziativ auf andere Technologien Bezug genommen, ohne dass eine klare Verbindung zur Leitfrage hergestellt wird.	PHT16-N102 setzt im Pretest eine graphische Darstellung ein, die verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten aufzeigt. In der Intervention kommt statt eines Wirkungsdiagramms Tortendiagramm und eine durch Zusammenfassung in Kästen strukturierte Darstellung zum Einsatz. Im Posttest werden einzelne Relationen dargestellt, ohne eine Vernetzung zu erreichen.

In Tabelle 11-4 ist Häufigkeit der Merkmalskombinationen im Merkmalsraum dargestellt. Während jede Ausprägung der Dimension *Entwicklung der Modellierungskennnisse* mindestens bei vier Fällen vertreten ist, streut die Verteilung beim Merkmal *Anzahl der Perspektiven* stärker: Während eine große Mehrheit von 23 Fällen im Modell mindestens zwei Perspektiven vernetzten, berücksichtigten fünf Personen zwei Perspektiven in unterschiedlicher Gewichtung, so dass die Ausprägung *Haupt- und Nebenperspektive* codiert wurde. Nur zwei Fälle beschränkten sich auf eine einzelne Perspektive. In Tabelle 11-4 sind zudem farbig Gruppierungen hinterlegt, die aufgrund ihrer räumlichen Nähe im Merkmalsraum und somit interner Homogenität der Merkmalsausprägungen Ausgangspunkt für die Bildung von Typen bildeten.

Die Gruppierung der Fälle zu Typen erfolgte durch die Zusammenfassung benachbarter Gruppierungen (vgl. Farbcodierung in Tabelle 11-4).

**Tabelle 11-4: Anzahl Fälle pro Ausprägungskombination im Merkmalsraum und farbliche Markierung der Typen.**

Legende für Gruppierungen, aus denen Typen gebildet wurden Rot: Typus 5, Orange: Typus 4, Gelb: Typus 3, Blau: Typus 2, Grün: Typus 1

		Ausprägung Modellierungskennntnisse					Anzahl	
		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5		
Vernetzung von Perspektiven	<i>Zwei oder mehr Perspektiven</i>	5	2	9	3	2	2	23
	<i>Haupt- und Nebenperspektive</i>	0	1	0	1	3		5
	<i>eine Perspektive</i>	0	2	0	0	0		2
Anzahl		5	5	9	4	7		30

Um die Selbsteinschätzung der Teilnehmenden zu berücksichtigen, wurde die Gruppierung der Personen, die methodisch korrekt und unter Einsatz von methodischem Vorwissen ein mehrperspektivisches Modell erstellten, weiter unterteilt: Personen, die in der Modellierung keine Herausforderungen benannten, wurden einer eigenen Gruppierung zugeordnet (Typus 1, grüne Markierung in Tabelle 11-4). Demgegenüber wurden Personen, die trotz eines inhaltlich und methodisch korrekten Vorgehens Herausforderungen bei der eigenen Modellierung äußerten, dem Typus 3 (gelbe Markierung in Tabelle 11-4) zugeordnet, da hier die methodischen Vorkenntnisse keinen klaren Einfluss auf die subjektiv empfundene Sicherheit in der Systemmodellierung hatten.<sup>103</sup>

Auf eine Kurzbeschreibung der Typen in tabellarischer Form in Kapitel 11.1.4 und die Einführung der Typbezeichnungen in Kapitel 11.2 folgt die ausführliche Darstellung und Einordnung der Typen im Kontext der Gesamtdaten in den Kapiteln 12 und 13.

---

<sup>103</sup> Vermutlich würde die Sicherheit im Umgang mit der mehrperspektivischen Systemmodellierung bei stärkeren inhaltlichen Vorkenntnissen zunehmen, da dann eine stärkere Konzentration auf den Modellierungsvorgang möglich wäre (vgl. Kapitel 4.4) und weniger Unsicherheiten anzunehmen wären. Die Differenzierung eines Typus, der fortgeschrittene Modellierer\*innen mit sicherem Vorgehen gruppiert, scheint geeignet, um potenziell eine Übertragbarkeit der Typologie auf Teilnehmer\*innen mit ausgeprägteren Vorkenntnissen zu erreichen.

*11.1.4 Kurzbeschreibung der Typen*

In Tabelle 11-5 sind die Ausprägungen der Merkmale aller fünf Typen in Textform zusammengefasst.

**Tabelle 11-5: Kurzbeschreibung der Typen mit Bezug auf die Merkmalsausprägungen.**

<b>Typus</b>	<b>Modellierung</b>	<b>Perspektive</b>
1	Beherrscht verhaltenserklärende Modellierung bereits vor Beginn der Intervention oder setzt Wirkungsdiagramme inklusive markierter Rückkopplungen erfolgreich ein, ohne methodische Herausforderungen zu benennen.	Vernetzt mühelos Perspektiven und bringt teilweise inhaltliche Vorkenntnisse im Bereich regenerativer Energien ein.
2	Erstellt Wirkungsdiagramme mit Rückkopplungen. Kennt weitere verhaltenserklärende Modellierungsformen und vernetzt diese methodisch mit Wirkungsdiagrammen.	Fokussiert auf eine Hauptperspektive, die dem Studienprofil nahe ist und ordnet dieser Perspektive eine weitere Perspektive unter.
3	Setzt Wirkungsdiagramme mit Rückkopplungen im Studienverlauf erfolgreich ein.	Vernetzt mehrere Perspektiven gemäß Aufgabenstellung.
4	Erlernt Modellierung schrittweise, wobei in der Intervention Wirkungsketten eingesetzt werden und Rückkopplungen erst im Posttest erstellt werden.	Berücksichtigt in der Modellierung zunächst weniger Perspektiven als ursprünglich vorgesehen.
5	Verwendet im Studienverlauf keine Darstellung mit Wirkungsdiagrammen und greift stattdessen auf andere Darstellungsformen zurück.	Erkundet Perspektiven.

## 11.2 Darstellung der Typologie

Die Typologie mit fünf Typen ist in Abbildung 11-1 dargestellt.<sup>104</sup>

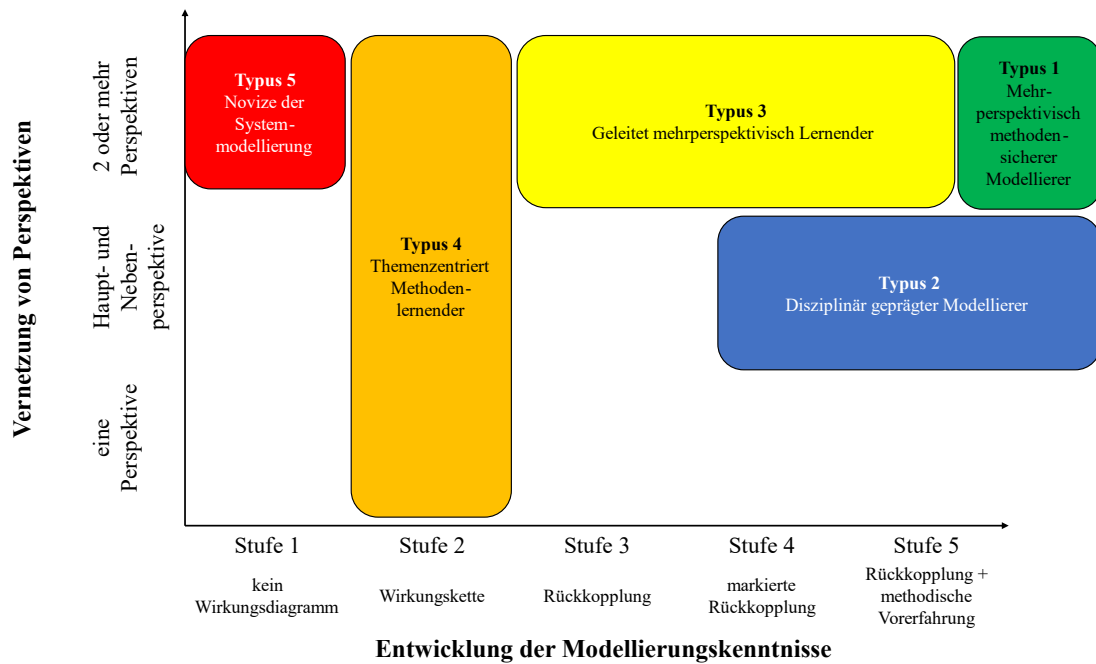


Abbildung 11-1: Typologie mit fünf Fällen.

Die in Tabelle 11-6 beschriebenen Bezeichner der Typen fassen deren Hauptcharakteristika der Typen zusammen (vgl. Pröbstle 2014, S. 302).

Tabelle 11-6: Benennung der Typen.

Typus Nummer	Benennung	Anzahl Fälle	Charakterisierung in
1	mehrperspektivisch methodensichere Modellierer	2	Kapitel 12
2	disziplinär orientierte Modellierer	4	Kapitel 12
3	geleitet mehrperspektivisch Lernende	14	Kapitel 13
4	themenzentriert Methodenlernende	5	Kapitel 13
5	Novizen in der Systemmodellierung	5	Kapitel 12

<sup>104</sup> Zur Vereinfachung der Benennung ist hierbei ausschließlich die männliche Bezeichnungsform angegeben.

Die Benennung der Typen erfolgte mit Bezug auf das Forschungsdesiderat, das darin besteht, bei den Teilnehmenden Ausprägungsformen von Systemmodellierung und Mehrperspektivität zu identifizieren und zu systematisieren, und bildet die empirisch ermittelten Charakteristika der Fälle im Zusammenspiel von Modellbildung und Mehrperspektivität ab. Die Namensgebung ist im Folgenden weiter erläutert:

1) Fälle, die bei methodisch korrekter Modellierung und nachweislichem Bezug auf methodische oder fachliche Vorkenntnisse ein Modell erstellen, das zwei oder mehr Perspektiven vernetzt, werden dem Typus des **mehrperspektivisch methodensicheren Modellierers**<sup>105</sup> zugeordnet. Voraussetzung für die Zuordnung zu diesem Typus ist, dass keine Herausforderungen im Umgang mit der Modellierung benannt sind.

2) Teilnehmende, die bereits über ausgeprägte Modellierungserfahrung verfügen und sich in der Modellierung unter Bezug auf ihren Studienschwerpunkt inhaltlich auf die Betrachtung einer Hauptperspektive konzentrieren, der eine Nebenperspektive untergeordnet ist, werden dem zweiten Typus zugeordnet. Da der Zugriff auf methodisches Vorwissen und die Verankerung im eigenen Fachbereich (Systems Engineering oder Industrial Management) prägend sind, wird die Typusbezeichnung des **disziplinär orientierten Modellierers** gewählt.

3) Die dritte Gruppierung umfasst Fälle, die mindestens zwei Perspektiven im Modell integrieren und die Modellierungsmethodik im Studienverlauf korrekt einsetzen. Sie erreichen dies, ohne explizit auf methodische Vorkenntnisse zuzugreifen, indem sie gemäß der Aufgabenstellung arbeiten. Aufgrund der konsequent perspektivübergreifenden Bearbeitung, sowie des methodischen Vorgehens gemäß Aufgabenstellung wird dieser Typus als **geleitet mehrperspektivisch Lernender** bezeichnet.

4) Eine weitere Gruppierung bilden die Teilnehmenden, die in der Systemmodellierung einen Lernprozess durchlaufen: Während die Modellierungsmethodik in der Intervention noch nicht vollständig eingesetzt wird, werden in der vereinfachten Systemsituation des Posttests Rückkopplungen in Modell berücksichtigt. Ein strukturiertes Vorgehen ermöglicht den Teilnehmenden dieses Typus, ihr Verständnis auszubauen, wobei sie ihr Modell zunächst mit einer reduzierten Zahl an Perspektiven erstellen. Dies erklärt die Typusbezeichnung des **themenzentriert Methodenlernenden**.

---

<sup>105</sup> Zur besseren Lesbarkeit und graphischen Darstellbarkeit sind die Typenbezeichnung in der maskulinen Form angegeben.



5) Die Teilnehmenden, die weder in der Intervention noch im Posttest ein Wirkungsdiagramm erstellen, werden dem Typus des *Novizen in der Systemmodellierung* zugeordnet. Dieser Typus grenzt sich von allen anderen Typen dadurch ab, dass in keiner Phase der Studie methodisch Wirkungsdiagramme mit Polaritäten eingesetzt wurden. Der Begriff des „Novizen“ ist in Anlehnung an die Terminologie von Dreyfus und Dreyfus (1980) gewählt und verweist darauf, dass diesen Personen noch reale Erfahrung in der Systemmodellierung fehlt und entsprechendes Wissen noch zu erwerben ist. Auch die Fähigkeit zu artikulieren, was bzw. wie gelernt wurde, scheint bei diesem Typus noch nicht stark ausgeprägt (vgl. Daley 1999, S. 144ff.), denn trotz Nichtnutzung von Wirkungsdiagrammen benennen Vertreter\*innen dieses Typus keine Herausforderungen bei der Bearbeitung der Modellierungsaufgabe. Dieser Typus ist an einer mehrperspektivischen Betrachtung des Systems durchaus interessiert, schafft es jedoch verglichen mit anderen Typen weniger gut, Zusammenhänge dynamisch vernetzt darzustellen.

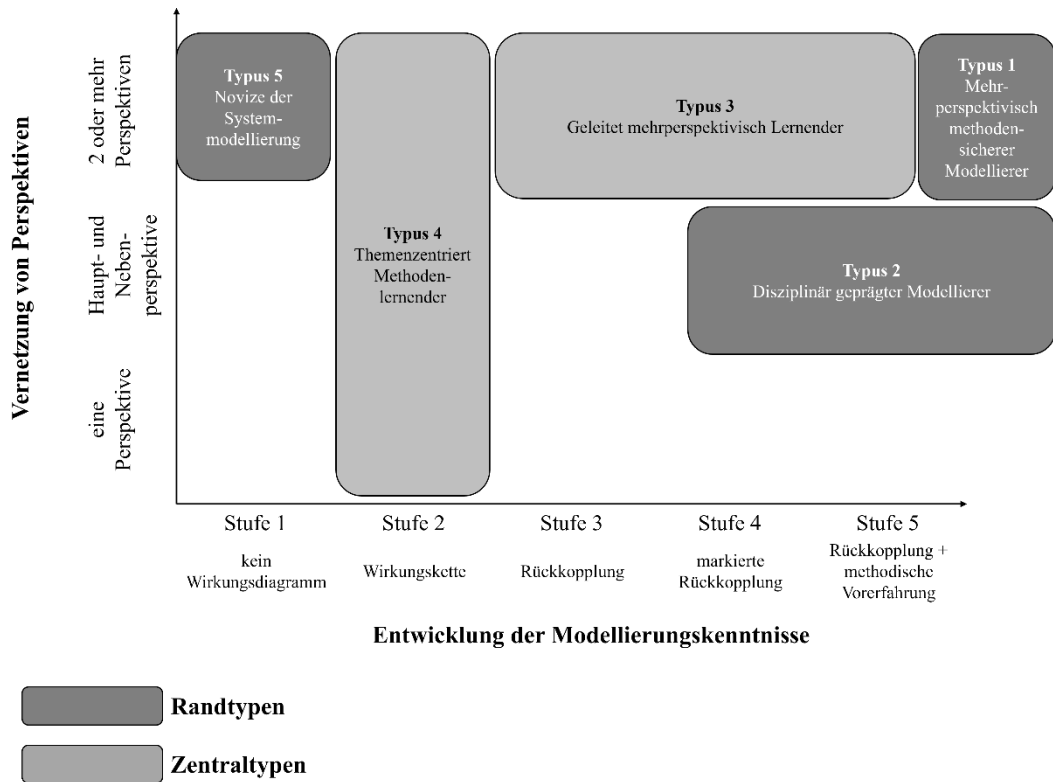
### 11.3 Zusammenfassung

Mit der Typologie, die in Kapitel 11 entworfen wurde, können alle in der Auswertung berücksichtigten Fälle einem Typus zugeordnet werden. In der Typologie sind die zentral gelegenen Typen 3 und 4, welche gemeinsam zwei Drittel der Fälle umfassen, von den randständig gelegenen Typen 1, 2 und 5 zu unterscheiden:

Einerseits unterscheiden sie sich bezüglich ihrer Lage im Merkmalsraum, insbesondere bezüglich der Entwicklung der Modellierungskennnisse (vgl. Abbildung 11-2).

Andererseits können die Ausprägungen der Merkmale für diese beiden Gruppierungen in unterschiedlicher Form durch die erhobenen Daten kontextualisiert werden. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Gruppierungen der Randtypen bezüglich ihrer sekundären Merkmale eher homogen sind, da sie innerhalb eines Typus mehrheitlich aus derselben Studienganggruppe stammen. Für diese Typen wird eine Zusammenhangsanalyse mit Bezug auf die Gesamtdaten durchgeführt (vgl. Kapitel 12).

Demgegenüber umfassen die Zentraltypen Teilnehmenden aus verschiedenen Studiengängen. Bei ihnen ist zudem in den Daten von Pretest, Intervention und Posttest in stärkerem Maße ein Entwicklungsprozess erkennbar, der in der Zusammenhangsanalyse aufgezeigt wird. Für diese Typen wird in Kapitel 13 auch die mehrperspektivischen Systemmodellierung als Lernprozess aufgezeigt.



**Abbildung 11-2: Gruppierung der Typen im Merkmalsraum der Typologie nach Randtypen und Zentraltypen.**

Die Zusammenhangsanalyse der nächsten zwei Kapitel, die neben der Beschreibung der Charakteristika der Typen auch eine Rekontextualisierung mit Bezug auf die sekundären Daten umfasst, bildet den Ausgangspunkt für die Formulierung von Lernpfaden, die in Kapitel 15.2 für verschiedene Typen vorgeschlagen werden.

## 12 Charakterisierung und Zusammenhangsanalyse der Randtypen

Die Typen 1, 2 und 5 werden im Folgenden als *Randtypen* bezeichnet (vgl. Abbildung 11-2). Sie weisen mit Bezug auf mindestens einer Merkmalsachse eine extreme Merkmalsausprägung auf, die für den Typus charakteristisch ist und bei anderen Typen nicht auftritt.<sup>106</sup>

Die charakteristischen Ausprägungen sind bei den Randtypen meist über den Querschnitt der Daten kontextualisierbar. Tabelle 12-1 stellt dar, welche Ausprägung bei welchem Randtypen innerhalb der Typologie verglichen mit anderen Typen stärker ausgeprägt ist und listet die Vertreter\*innen der Typen auf.

**Tabelle 12-1: Randtypen und ihre extremen Ausprägungen, sowie ihre Vertreter\*innen.**

Typus	Extreme Ausprägung	Vertreter
1 Mehrperspektivisch methodensichere Modellierer	Methodisch korrekter Einsatz von Wirkungsdiagrammen und mehrperspektivische Modellierung bei vorhandenem fachlichen Vorkenntnissen	IDM16-S359 IDM17-W696
2 Disziplinär orientierte Modellierer	Methodisch korrekter Einsatz von Wirkungsdiagrammen und vertieftes Modellierungsmethodisches Vorwissen, Fokussierung auf Perspektive Wirtschaft mit Nebenperspektive Technik	MSE16-E744 IDM16-H028 IDM16-W041 IDM16-S978
5 Novizen der Systemmodellierung	Keine Nutzung von Wirkungsdiagrammen	PHT16-B114 PHT16-M113 PHT16-N102 IP17-A372 IP17-A379

Die Charakterisierung der Typen beginnt mit der Beschreibung eines Modellfalls als Zusammenschau geeigneter Kontextdaten des Typus (vgl. Kuckartz 2018, S. 158). Es folgt die spezifischere Beschreibung des Typus, wobei Zitate und Abbildungsbeispiele für mehrere Fälle des Typus kombiniert werden.

<sup>106</sup> Da es sich bei den Ausprägungen um relative Extrema handelt, die nur in Bezug auf die im Sample vorhandenen Ausprägungen einzuordnen sind, wird von der Bezeichnung „Extremtypus“ abgesehen.

### 12.1 Typus 1: Mehrperspektivisch methodensichere Modellierer

Der Typus des mehrperspektivisch methodensicheren Modellierers wird von zwei Fällen repräsentiert. Mit fundierten methodischen Kenntnissen bearbeiten die Vertreter\*innen dieses Typus eine mehrperspektivische Leitfrage. Dabei zeigt dieser Typus eine positive Grundeinstellung zur Modellierung und Mehrperspektivität, die durch Interesse und methodische Vorkenntnisse gefördert wird.

#### *Modellfall Typus 1: Der mehrperspektivisch methodensichere Modellierer*

Der mehrperspektivisch methodensichere Modellierer zeigt einen sicheren Umgang in verhaltensklärender Modellierung und bringt aus dem Studium einen Zugang zu mehrperspektivischem Denken mit. Zudem äußert er teilweise explizit Interesse an erneuerbaren Energien. In der Betrachtung von Energiesystemen kombiniert er wirtschaftlich-technische Aspekte mit ökologischen bzw. gesellschaftlich-politischen Fragestellungen. Aufbauend auf ein MINT-Bachelorstudium hat der mehrperspektivisch methodensichere Modellierer ein Masterstudium im Wirtschaftsingenieurwesen gewählt, um den eigenen Horizont zu erweitern. Er zeigt eine intrinsische Motivation für das Studium, mit einer Vorliebe für Fächer mit quantitativem Schwerpunkt, wie Mathematik oder Modellbildung. Der mehrperspektivisch methodensichere Modellierer nutzt bereits im Pre-Test die ihm bekannten Methoden verhaltensklärender Modellbildung und setzt in der Intervention Systemmodellierung methodisch korrekt für eine mehrperspektivische Systembetrachtung ein. Weiterhin erörtert er komplexere Modellzusammenhänge mit anderen Teilnehmenden und denkt über den Fortschritt und die Aussagekraft eigener Arbeitsergebnisse nach. Das vorhandene Fach- und Methodenverständnis, zusammen mit die Offenheit und dem Interesse gegenüber mehrperspektivischen Ansätzen erklären, wieso der mehrperspektivisch methodensichere Modellierer die Modellierungsaufgabe ohne Herausforderungen bearbeitet.

#### *Intrinsische Studienmotivation und positive Einstellung zum Lernen*

Beide Vertreter\*innen dieses Typus studieren im Studiengang Industrial Management. Die Wahl des Studienfachs ist intrinsisch motiviert: Die Teilnahme am Masterstudium wird über die Freude am Studieren und Lernen begründet: So nennt von IDM16-S359 „Interesse Neues zu Lernen, Freude am Studieren“ (Motivation Studium, IDM16-S359) als Motivationsgründe. Weiterhin wird das Studium als Chance gesehen, den Horizont zu erweitern:

IDM17-W696 hat sich aufgrund des „breite[n] Fächerangebot[s]“ (Begründung Wahl Studienfach, IDM17-W696)<sup>107</sup> für ein Masterstudium entschieden. Zudem motiviert ihn „[d]ie Möglichkeit sich nach dem technischen Bachelorstudium in Richtung BWL/Management weiterzuentwickeln“ (Motivation Studium, IDM17-W696). Auch zieht er eine wissenschaftliche Karriere in Betracht.

IDM16-S359 möchte die im Bachelor erworbene Spezialisierung im technischen Bereich in einem „allgemeineren Master“ erweitern:

*S359: „Also bei [Erstausrüster in der Automobilbranche] in der operativen Messtechnik und hab da auch die Abschlussarbeit geschrieben. Und, ehm, ja deshalb würd ich schon mein Profil eher als Messtechnik bezeichnen. Dass das in mein/mein Spezialgebiet ist. Und ehm, ja den Master hab ich jetzt einfach deshalb gewählt, da man sich als Physiker schon irgendwie spezialisieren muss irgendwann mal. Und ich eigentlich nicht in die Verfahrenstechnik gehen wollte, weil mir das schon zu speziell war. Und deswegen hab ich hier nochmal nen allgemeineren Master gewählt.“ (Interviewtranskript IDM16-S359: 9 - 10).*

Das Interesse an thematischen Inhalten des Studiums ist bei den mehrperspektivisch methodensicheren Modellierern bereits seit der Schule erkennbar. Beide Vertreter\*innen des Typus nennen MINT-Fächer als Lieblingsfächer in der Schulzeit. IDM17-W696 beschreibt, dass er "[...] schon immer Interesse an Technik etc. hatte und [s]ich generell oft gefragt ha[t], wie diese funktioniert" (Erklärung für Schulerfolg, IDM17-W696). IDM16-S359 wiederum gibt folgende Gründe für die bevorzugten Schulfächer an: „Naturwissenschaften: Verständnis von Zusammenhängen in Physik, Chemie - Faszination des Fachs, Wirtschaft: Zusammenhänge in Wirtschaft und Gesellschaft verstehen" (Interesse Studienfach, IDM16-S359).

#### *Vorkenntnisse in der Modellierung dynamischer Systeme und Interesse an Mathematik*

Über das Fach *Modellbildung und Simulation* im Masterstudium verfügen beide Vertreter\*innen des Typus 1 über Grundkenntnisse in der verhaltensklärenden Modellbildung aus den vorhergehenden Kursstunden. Die dort erlernte Stock-Flow-Modellierung setzen die mehrperspektivisch methodensicheren Modellierer zur Lösung des Zwischentests ein. In Tabelle 12-2 ist dargestellt, dass beide Teilnehmer sowohl bei konstanten als auch bei linearen Zuflussraten die qualitative Entwicklung von Bestandsgrößen über eine Differentialgleichung darstellen. Der Ansatz, von einer Gleichung auf ein Stock-Flow-Modell zu schließen, entspricht dem Vorgehen aus dem Kurs *Modellbildung und Simulation*.

---

<sup>107</sup> Zitate aus dem Fragebogen zu soziodemografischen Daten und Bildungsdaten werden im Folgenden in der Form *Kurzfassung Frage, Fall* zitiert..

Zudem wird das allgemeine Vorgehen zum Lösen des Aufgabentyps über einen Integrationsansatz beschrieben, der strukturell identisch mit dem bei Sterman beschriebenen Ansatz ist, und Zusammenhänge zwischen Zufluss, Abfluss und Bestandsgröße in zeitkontinuierlicher Form als Integral mit gegebenem Anfangswert darstellt (vgl. Sterman 2000, S. 194 , Booth Sweeney und Sterman 2000, S. 272).

$$\text{Stock}(t) = \int_{t_0}^t [\text{Inflow}(s) - \text{Outflow}(s)]ds + \text{Stock}(t_0) .$$

Mit diesem Lösungsansatz zeigen Vertreter\*innen des Typus 1, dass ihnen mathematische Methoden der Modellierung (Differentialgleichungen) bekannt sind und sie methodisch auf die Lösungsstrategien aus dem Kurs Modellbildung und Simulation zugreifen.<sup>108</sup>

**Tabelle 12-2: Ergebnisdarstellung des Zwischentests für die Personen aus Typus 1.**

Fall	Beschreibung	Darstellung durch den Teilnehmenden
IDM16-S359	Bildung der Differenz Zufluss vs. Abfluss Überschlagung der summierten Differenzen für bestimmte Zeitwerte	$\int_{t_a}^{t_e} \text{Zufluss} - \text{Abfluss} dt$
IDM17-W696	Die Größe $x = \text{Zufluss} - \text{Abfluss}$ abgeschätzt (berechnet) und die Fläche darunter als Zuwachs bzw. Abnahme genommen	Allgemein muss die Größe $x = \text{Zufluss} - \text{Abfluss}$ integriert werden $y = \int x dt + y_0 = \int (\text{Zufluss} - \text{Abfluss})dt + y_0$

IDM16-S359 äußert explizites Interesse an mathematischen Herausforderungen und grenzt sich damit von anderen Teilnehmenden ab:

*I: Inwiefern hat das ne Rolle gespielt, dass eh der IDM Kurs am Anfang doch direkt mit der Mathematik anfing? So für ihre generelle Entscheidung im Kurs teilzunehmen, oder nicht.  
IDM16-S359: Also ich fands eigentlich nicht schlecht. Weil ichs bisschen vermiss in den andern Kursen so mal bisschen die mathematische Herausforderung.  
I: Mh.  
IDM16-S359: Am Anfang wars auch bisschen weit.. war einfach weit zurückliegend, die Mathematik. Das war aus dem ersten Semester und.. aber irgendwie fand ichs dann auch spannend das wieder auszugraben. (IDM16\_I01\_S359, Pos. 62-65)*

IDM17-W696 kann methodische Kenntnisse in neuen thematischen Feldern einsetzen: Er verwendet im Pre- und Posttest Blockschaltbilder zur Darstellung dynamischer Zusammenhänge (vgl. Tabelle 12-3 oben). Hierbei handelt es sich um eine verhaltensklärende Darstellungsform, die in technischen Fächern wie der Regelungstechnik grundlegend ist (vgl. Lunze 2013, S. 43ff.), wobei der Teilnehmer strukturelle Zusammenhänge methodisch plausibel auf nicht-technische Anwendungsfelder überträgt. Verkettungen und Rückkopplungen werden analog zur Darstellung in Wirkungsdiagrammen berücksichtigt werden.

<sup>108</sup> Damit ist Antwort durch Typus 1 präziser als bei der Mehrheit der Studienteilnehmer\*innen bei Booth Sweeney und Sterman (2000), vgl. Kapitel 4.3.

Die Anwendung auf nicht-technische Systeme setzt IDM17-W696 durch eine mathematisch-abstrahierende Analyse der Grundsituation um:

**Tabelle 12-3: Pretest und Posttest-Modelle der mehrperspektivisch methodensicheren Modellierer.**

Fall	Test	Modell
IDM17-W696	Pretest	
	Posttest	
IDM17-S359	Pretest	
	Posttest	

Die Entwicklung der Rinderpopulation in Abhängigkeit der Einflussgrößen Bewässerung und Tse-Tse-Fliegen stellt IDM17-W696 als Funktion zweier Veränderlicher  $f(x,y)$  dar (vgl. Tabelle 12-3 oben). Auch IDM16-S359 greift bereits im Pretest auf eine vernetzende Darstellung zurück, die methodisch einem Wirkungsdiagramm mit beschrifteten Pfeilen ähnelt (vgl. Tabelle 12-3, Zeile 3).

Nach eigener Aussage ist die Darstellungsform des Wirkungsdiagramms zu diesem Zeitpunkt nicht methodisch bekannt, sondern selbst entwickelt:

*I: Mh: Das Interessante daran ist ja, dass es ja schon ein Kausaldiagramm fast vollständig ist, ne? Kannten sie das vom Konzept her vorher? Also diese Art der Darstellungsmethode?*

*S359: Ne so nicht.*

*I: Oder fanden sie das für sich einfach sinnvoll.*

*S359: Ja, ich hab's dann schon selber während der Abschlussarbeit so ein bisschen entwickelt um mir die Sachen bisschen besser vorstellen zu können. Ja.*

*I: Mh.*

*S359: Genau. Aber jetzt in der Vorlesung hatte ich's vorher noch nicht. (IDM16\_I01\_S359, Pos. 150-155)*

Beide Darstellungsformen im Pretest zeigen auf, dass ein konzeptionelles Vorverständnis für verhaltensklärende Modellierung unter Berücksichtigung von Rückwirkungen vorliegt und dass die Teilnehmenden diese in einem inhaltlich neuen Umfeld einsetzen können.

Im Posttest setzen die beiden Vertreter\*innen des Typus 1 die Darstellungsform aus dem Pretest erneut ein, wobei ein rückwirkender Zusammenhang in beiden Fällen identifiziert ist (vgl. Tabelle 12-3, Zeile 2 und 4).

#### *Entdeckung des Neuen durch Modellierung und breit gefächertes Interessenspektrum*

Typus 1 äußert Neugier und Interesse an der Vernetzung verschiedener Themenfelder und Perspektiven: So antwortet IDM16-S359 auf die Frage, ob Modellbildung und Simulation als berufliche Tätigkeit infrage käme, dass der Erkenntnisgewinn durch Abstraktion faszinierend sei:

*I: Können Sie sich vorstellen im späteren Berufsleben auch mit Modellbildung und Simulation zu tun zu haben?*

*IDM16-S359: Wobei ich jetzt .. eh... nicht nur eh.. Modelle bilden würde, in dem Sinn das jetzt die Kollegen dann mit den Problemen kommen und mir alles aufn Schreibtisch legen und ich eigentlich nur vorm Computer sitz und irgendwie versuchen muss das zu modellieren. Aber.. ansonsten find ichs schon interessant eben aus der Realität dann eh.. das zu abstrahieren und versuchen es umzusetzen und daraus dann ne Schlussfolgerung zu ziehen, die man vielleicht so gar nicht sieht. Ist dann ganz interessant was man dann mit Daten anfangen kann, wo man vorher gar nicht gedacht hat, das man da so viel rausziehen kann. (IDM16\_I01\_S359, Pos. 90-92)*

IDM16-S359 erinnert sich zwar an Standardmodelle technischer Fächer, bevorzugt aber das „Neue“, hier in Form sozio-ökonomischer Zusammenhänge:

*I: Ihre aktuelle Präferenz geht die eher Richtung technische Systeme oder eher Richtung Sozio-Ökonomische? Weil sie jetzt ja diesen kombinierten Hintergrund haben.*

*IDM16-S359: Ich interessiere mich jetzt fast eher für die Sozio-Ökonomischen, weil des einfach was Neues für mich ist, was Interessantes. Und ja die technischen.. Weiß nicht da hatten wir ja jetzt nie so richtig interessante Modelle. Das mit dem Feder-Dämpfer das hatte jeder irgendwie... was.. ja.. ja aber es sind schon beide interessant. Aber das Sozio-Ökonomische ist halt neu [...] (IDM16\_I01\_S359, Pos. 5-97)*



Auch die Wahl eines gesellschaftswissenschaftlichen Profulfachs in der gymnasialen Oberstufe bei beiden Vertretern des Typus deutet darauf hin, dass ein breit gefächertes Interesse vorhanden ist. IDM16-S359 bringt insbesondere auch ein Grundverständnis bzw. eine Aufgeschlossenheit gegenüber erneuerbaren Energien mit.<sup>109</sup>

Der direkte Bezug zu erneuerbaren Energien wird dabei über einen privaten Zugang begründet.

*IDM16-S359: [...] Aber halt vom Elternhaus ein bisschen. Das mein Vater da schon eh. ja bei so nem Solaranlagen Projekt mitgemacht, wo man praktisch in der Gemeinde ne gewisse Fläche kaufen konnte/sich da beteiligen konnte. [...]. (IDM16\_I01\_S359: 191 – 192)*

Damit ist diese Person eine der wenigen Studienteilnehmenden mit explizitem Bezug zu regenerativen Energien.

### *Vernetzung von Fach- und Methodenkenntnis in der Modellvorstellung*

Die Vertreter\*innen des Typus 1 stellen ihr Modell methodisch und inhaltlich plausibel dar.

Typus 1 arbeitet mit der Aufgabenstellung ohne erkennbare Herausforderungen. Es werden die Perspektiven, die vorab in der Leitfrage formuliert wurden, im Modell berücksichtigt. Diese Übereinstimmung wird auch von anderen Teilnehmenden im Gespräch bestätigt:

*IDM17-W696: Also bei mir deckt das sich.*

*IDM17-L956: Ja bei dir deckt das sich ziemlich. [...] (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 78-79)*

In der Vorstellungsphase erklärt IDM16-S359 den Zuhörer\*innen inhaltliche Zusammenhänge und greift hierbei auf Fachwissen im Bereich erneuerbarer Energien zurück, indem er das volatile Verhalten der regenerativen Anlagen dem steuerbaren Verhalten von konventionellen Kraftwerken gegenübergestellt.

Zentrale Größe im Modell ist dabei die Regelleistung, die als Differenzgröße definiert wird (unterstrichen):

*IDM16-S359: [...] je mehr erneuerbare Energien ich hab, desto mehr Regelleistung brauch ich ja, weil die äh die Leistung periodisch rein kommt. [...]00:25:16#*

*IDM16-W041: Hängt die Regelleistung nicht vom Bedarf ab? #00:25:19#*

*IDM16-S359: Ja, Bedarf und Angebot. Aber wenn ich praktisch mein Angebot (.) nicht flexibel steuern kann, dann brauch ich umso mehr Regelleistung(..)#00:25:29#*

*Weil die Regelleistung ist ja eigentlich (.) die Differenz zwischen der Nachfragekurve und der Kurve die ich mit meinen normalen Kraftwerken fahren kann.#00:25:39#*

*Wenn ich jetzt nur Solaranlagen zum Beispiel hab, dann muss ich ja nachts äh komplett alles mit Regelleistung irgendwie (.)#00:25:45#*

*IDM16-W041: Achso okay. Du meinst dass die/die äh erneuerbaren Energien (als Vol?) ne höhere Vola/Volalilität haben als die/die//#00:25:53#*

*IDM16-S359: //Genau, ich kann die ja kaum äh//#00:25:55#*

---

<sup>109</sup> Kontextwissen zu erneuerbaren Energien vereinfacht es, Systemmodellierung und mehrperspektivische Inhalte zu diesem Themenfeld zu verknüpfen (vgl. Kapitel 4.4.6). Dieser Zusammenhang wird in der Diskussion in Kapitel 15.1.1 aufgegriffen.

*IDM16-W041: //konventionellen?*

*IDM16-S359: nach dem Bedarf steuern.#00:25:57#*

*IDM16-W041: Mh (bestätigend).#00:25:58#*

*(Weils? ) Wind und Sonne (ist?).*

*IDM16-S359: Bei nem Kohlekraftwerk kann ich ja zumindest ähm mittags äh die (Netz?)Kurve noch bisschen nachfahren aber äh mit den anderen geht das ja nicht.#00:26:07#*

*(IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 148-159)*

Es wird zur Erklärung eine in eigenen Worten formulierte Definition von Regelleistung eingebracht und die Dynamik des Systems erläutert. Zudem wird die relative Größe des Anteils erneuerbarer Energien als Zielgröße definiert (vgl. Sterman 2000, S. 210) und Differenzen zwischen Verfügbarkeit und Bedarf werden gemäß einem zielsuchenden Archetypen berücksichtigt. Hier zeichnen sich ein inhaltliches Grundverständnis für Angebot und Nachfrage, sowie Vorwissen in der strukturellen Darstellung beschränkten Wachstums ab (vgl. Archetyp Kapitel 3.2.4).<sup>110</sup> IDM16-S359 markiert zudem explizit Zeitverzögerungen im Modell, was einer fortgeschrittenen Kompetenzstufe nach Schaffernicht und Groesser (2016) entspricht.

Auch IDM17-W696 kombiniert die Darstellung vernetzter Perspektiven und zeitlicher Dynamik: Die Modellgröße *Substrat* wird hierbei aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet: Sie wird mit Bezug auf die Umweltbilanz, aber auch unter Berücksichtigung der Energiedichte als technischem Parameter untersucht (vgl. Abbildung 12-1).

Nach Vorstellung der Leitfrage wird ein antiproportionaler Zusammenhang zwischen Energiedichte und Umweltbilanz hergestellt.<sup>111</sup>

*IDM17-W696: „[...] Inwieweit kann am Beispiel von Biogasanlagen das Ziel der Versorgungssicherheit unter Berücksichtigung der Umweltbilanz verfolgt werden? Genau und da hab ich dann eben hier versucht auch über diese Einflussgrößen ein Modell aufzubauen. Also ich hab einmal die Größe Energiedichte [...] des Substrats, dann die Umweltbilanz der Substrate, die beeinflussen sich natürlich äh am, so hab ich das angenommen gegenseitig und antiproportional.#00:03:47# Also ähm je höher die Energiedichte, desto schlechter ist die Umweltbilanz. [...]“ (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 6)*

---

<sup>110</sup> Über Differenzgrößen der Form A-B können zwei Größen verglichen werden. Dieser Ansatz, bei dem das Verhalten zweier Größen vergleichend betrachtet wird, sowie die Weiterentwicklung zu einer relativen Größe, z.B. (B-A)/B, werden in der quantitativen Systemmodellierung eingesetzt, um Systemverhalten mit Bezug auf eine Referenzgröße zu untersuchen (vgl. Pruyt 2013, S. 157ff., Sterman 2000, S. 155ff.).

<sup>111</sup> Dieser Zusammenhang ist für die Abwägung zwischen Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit essenziell, und wurde beispielsweise von IDM16-A282 nicht berücksichtigt (vgl. Kapitel 13.2).

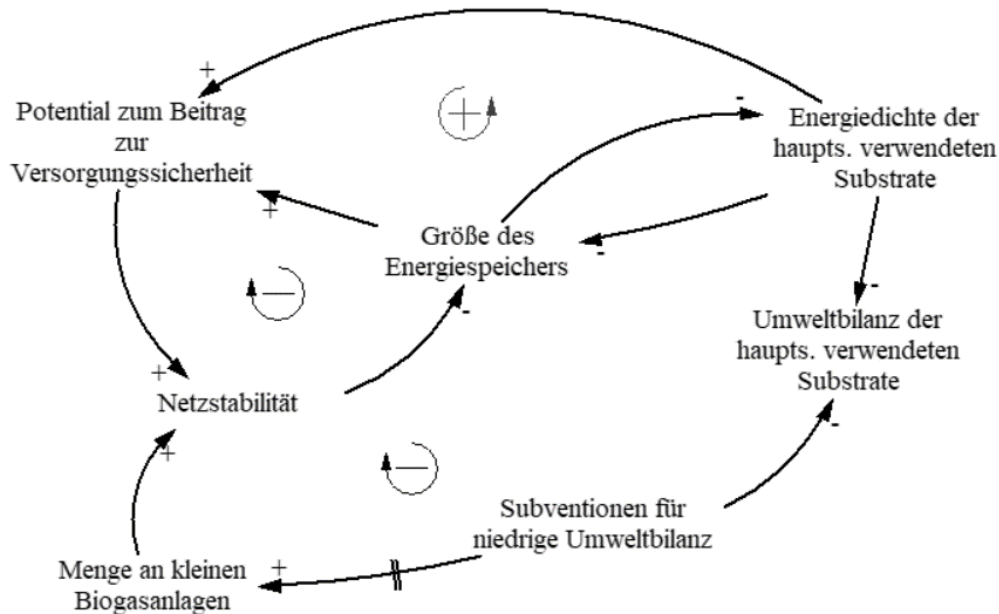


Abbildung 12-1: Modell von IDM16-W696.

Hierbei ist die Perspektive neben technischer Versorgungssicherheit auch auf Umwelt- und Ressourcenschutz gelenkt. Anschließend wird aufgezeigt, wie wirtschaftliche Anreize gesetzt werden können, um den Beitrag von Kleinanlagen zur Versorgungssicherheit zu ermöglichen (Größen des Systemmodells sind unterstrichen dargestellt):

*IDM17-W696: „Dann hab ich gesagt, je höher die Energiedichte, desto kleiner ist die Größe des Energiespeichers, weil ich ja einen besseren Wirkungsgrad erzielen kann und dadurch den Speicher auch wieder schneller auffüllen kann. [...] Je größer der Speicher, desto größer ist auch das Potential, dass ich wirklich zur Netzstabilität beitragen kann. Und dann hab ich auch noch versucht extern über Subventionen das ein bisschen schmackhafter zu machen die Umweltbilanz, äh, zu verbessern und dann auch die Menge an kleinen Biogasanlagen, die sich meistens wahrscheinlich gar nicht rentieren würden, sondern nur durch Subventionen, werden dann eben die kleinen Biogasanlagen gefördert, so dass sich durch diese virtuellen Kraftwerke einen größeren Beitrag zur Netzstabilität haben können.#00:05:19# [...] (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 6)*

Vertreter\*innen des Typus 1 schaffen es also, durch Abbilden zentraler dynamischer Zusammenhänge und der Vernetzung von Perspektiven zentrale Eingriffs- oder Hebelpunkte zu identifizieren, welche bei einer Übertragung von Erkenntnissen aus der Modellierung in Realsystemen erfolgsversprechend wären (vgl. Kapitel 3.2).

Zusammengefasst zeigt Typus 1 ein methodisch und inhaltlich konsistente Modellierung, die sich über bekannte Vorkenntnisse erklären lässt.

Hervorzuheben ist das reflektierte Verständnis für Systemmodellierung. Dies äußert sich darin, dass Zielstellungen aus verschiedenen Perspektiven gegeneinander abgewägt werden (siehe IDM17-W696) bzw. eine Systemgrenzen hinsichtlich Raum, Zeit, Ressourcen, menschlichen Handelns (Notiz zum Interventionsmodell IDM16-S359) reflektiert und die "rein rational[e]" gesellschaftliche Einstellung der Bevölkerung zu erneuerbaren Energien angemerkt wird (Notiz zum

Interventionsmodell, IDM16-S359). Dies zeigt auf, dass ein Bewusstsein für die eingeschränkte Aussagekraft bzw. Kontingenz von Modellen vorhanden ist. Es ist somit bei Typus 1 bereits ein gewisser Zugang zu einem „öko-sozio-technologische[n] Systemwissen“ (Ropohl 1999, S. 215) und einer Metaebene der Systembetrachtung erkennbar.

### *Zusammenfassung*

Typus 1 setzt Wirkungsdiagramme zur Darstellung zeitdynamischer und mehrperspektivischer Systemzusammenhänge erfolgreich ein. Bei Typus 1 zeigt sich eine Verbindung aus Methodenwissen und inhaltlichem Verständnis, die eine Modellierung auch in neuen, komplexen Situationen ermöglicht, so dass in der Modellierung mit Wirkungsdiagrammen dynamische und perspektivische Komplexität berücksichtigt werden. Eine perspektivübergreifende und forschungsorientierte Grundhaltung unterstützt die mehrperspektivische Modellierung und erste Ansätze zur Reflexion über das eigene Modell.

## 12.2 Typus 2: Disziplinär geprägter Modellierer

Vertreter\*innen des Typus 2 sind technikbegeisterte Studierende mit beruflichen Aufstiegsambitionen: Sie verfügen über vertiefte Kenntnisse in der Systemmodellierung, die sie erkennbar in die Studie einbringen. Die Fachdisziplin, mit der sie sich identifizieren, bestimmt den perspektivischen Rahmen ihres Modells.

### *Modellfall Typus 2: Der disziplinär geprägte Modellierer*

Der disziplinär geprägte Modellierer versteht sich als Ingenieur, der nach einem abgeschlossenen Bachelorstudium im Ingenieurwesen ein Masterstudium absolviert, um eine Führungsposition zu erreichen. Er bringt aus dem Bachelorstudium Vorerfahrung in der quantitativen Modellbildung mit, die er im Masterstudium vertieft.

In der Modellierung der Intervention greift der disziplinär geprägte Modellierer auf Grundelemente verhaltensklärender Modellbildung zurück, die ihm aus dem Studium bekannt sind.

Der disziplinär geprägte Modellierer zeigt eine wirtschaftlich-technisch geprägte Weltsicht. Auf dieser thematischen Basis modelliert und interagiert er mit anderen Gruppenteilnehmer\*innen: Das eigene Modell ist vorwiegend wirtschaftlich geprägt, Fragen und Bemerkungen zu Modellen anderer Teilnehmer\*innen werden mit Bezug auf methodische oder wirtschaftliche Zusammenhänge formuliert.

Insgesamt bevorzugt der disziplinär geprägte Modellierer quantitative Argumentationsmuster und benennt die Unschärfe, die qualitative Modellierung mit Wirkungsdiagrammen mit sich bringt, als Herausforderung.

### *Technikfaszination und beruflicher Aufstieg durch ein Masterstudium*

Die vier Fälle des Typus 2 studieren Industrial Management oder Systems Engineering. Ihre Studienmotivation ist vorwiegend durch bessere Berufsperspektiven begründet, was IDM16-H028 wie folgt ausdrückt:

*„[...] eine Vielzahl an Studenten (so viele Studenten wie nie zuvor) macht eine Abhebung von der "Masse" notwendig -> Bildungsangebot maximal ausnutzen“ (Studienmotivation, IDM16-H028).*

Ihre berufliche Zukunft sehen die Vertreter\*innen von Typus 2 im Bereich des Ingenieurwesens, wobei bei den Studierenden des Industrial Managements mit den Berufszielen Qualitätsingenieur/Controller (IDM16-H028), Fertigungs- und Prozessplaner (IDM16-W041) und Vertriebsingenieur (IDM16-S978) wirtschaftsnahe Berufe benennen, während der Vertreter\*innen aus MSE16 eine Tätigkeit als Entwicklungsingenieur, sowie eine Führungstätigkeit anstrebt (MSE16-E744).

Mit dem Masterstudium wollen die Teilnehmenden vor allem fachliche Kompetenzen erwerben, wobei neben Vertiefungen in der (Regelungs-)Technik (IDM16-W041 bzw. MSE16-E744) auch wirtschaftliche Fächer wie Besteuerung und Controlling (IDM16-H028), sowie der Bereich Management (IDM16-S978, IDM16-W041) genannt werden.

Die grundlegende „Faszination Technik“ (Reflexion Interesse, IDM16-S978) und das „Interesse an technischen Prozessen, verstehen [zu] wollen wie etwas funktioniert“ (Reflexion Interesse, MSE16-E744) ist bei Typus 2 klar ausgeprägt.

So zählen alle Vertreter\*innen des Typus 2 mindestens ein Fach aus dem Bereich Ingenieurwesen zu den bevorzugten Studienfächern. Auch für das schulische Profil werden meist MINT-Fächer benannt. Der Lebensweltbezug wird als Begründung für das Interesse an Technik angegeben: Die Anschaulichkeit der Technik mit „klare[n] Funktionen/Ziele[n]“ (Erklärung leichtes Lernen, MSE16-E744) weist darauf hin, dass die „Finalität der Technik“<sup>112</sup> und ihrer Funktionsgegenstände (vgl. Poser 2016, S. 101, Schmayl und Wilkening 1995, S. 47) für Typus 2 bedeutsam sind.

#### *Ausgeprägte Vorkenntnisse in der quantitativen Systemmodellierung*

Über ihren ingenieurwissenschaftlichen Studienhintergrund<sup>113</sup> verfügen die Beteiligten des Typus 2 über Vorkenntnisse in der quantitativen Systemmodellierung. Hierbei beschreibt MSE16-E744 den Schwerpunkt der Modellierung technischer Systeme im Masterstudiengang Systems Engineering im Vergleich mit dem eigenen Bachelorstudium wie folgt:

*MSE16-E744: Und das Ganze ist [...] sehr auf Modellbildung, technische Systeme äh.. ausgerichtet. Das heißt wir haben eigentlich in sagen wir 80 Prozent aller Fächer Modellbildung technischer Systeme. Auf mathematischer Basis, mit dem Tool Matlab Simulink<sup>114</sup> ja sehr präsent. (MSE16\_E744\_W122, Pos. 8)*

Verglichen mit der Regelungstechnik im Bachelorstudium wird tiefere Betrachtung technischer Systeme beschrieben, wobei im Vergleich zum Bachelorstudium die mathematische Perspektive in den Hintergrund tritt:

*MSE16-E744: [...] bloß jetzt im Master da ist die Fragestellung halt durchaus komplexer und tiefgehender. Das heißt mit dem was man sich im Bachelor zufrieden gegeben hat, das was einigermaßen läuft, ist halt im Master nicht mehr so. Man schaut sich das um einiges genauer an, und man ist nicht mehr fertig wenn man des fertige Modell hat sondern dann beginnt eigentlich erst die Arbeit um Tuning vorzunehmen, um die ganzen Systeme bis in die letzte Ecke kennen zu lernen. [...] im Grund hat sich nicht viel geändert aber man stellt immer noch die Systeme auf aber man betrachtet sie halt jetzt viel tiefer (MSE16\_E744\_W122, Pos. 88-91)*

---

<sup>112</sup> Poser (2016) spricht von „Finalität und Kreativität als Wesensbestandteil der Technik“ (Poser 2016, S. 38).

<sup>113</sup> Zumindest im Bachelor-Studium haben alle Fälle aus Typus 2 ein ingenieurwissenschaftliches Fach studiert.

<sup>114</sup> MATLAB ist eine Umgebung für Programmierung und numerische Berechnungen, Simulink eine „Blockdiagrammumgebung zur Modellierung und Simulation“ (The MathWorks 2022).

Diese Aussage, die widerspiegelt, dass bei MSE16-E744 der aktuellen Tätigkeitsschwerpunkt in der softwarenaher Modellentwicklung und nicht (mehr) in der mathematischen Modellierung liegt, erklärt möglicherweise, wieso MSE16-E744 im Zwischentest zur Systemsimulation mit einen intuitiven, nicht analytisch durchdachten Lösungsansatz vorgeht (vgl. Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 431ff.). Im Gegensatz dazu zeigen die anderen Vertreter\*innen des Typus 2, die alle im Studiengang IDM studieren im Zwischentest einen Lösungsansatz über Differentialgleichungen bzw. Stock-Flow-Modellierung, wie es bei ihnen in den vorherigen Kursstunden wiederholt wurde. In diesem Merkmal stimmen Sie mit den Vertretern von Typus 1 überein.

Insgesamt ist eine durch Modellbildung bzw. Simulation geprägte Vorbildung bei allen Vertretern des Typus 2 vorhanden. Dies zeigt sich im Pretest dadurch, dass auf Grundmodelle und Darstellungsformen zugegriffen wird, die aus anderen Fächern bekannt sind:

MSE16-E744 setzt ein Blockschaltdiagramm ein (vgl. Lunze 2013, S. 43ff., Tabelle 12-4 oben)<sup>115</sup>. IDM16-S978 wiederum nutzt einen Ablaufplan inklusive Fallunterscheidung, ähnlich wie er in der Informatik eingesetzt wird (vgl. Goll und Dausmann 2014, S. 39, Tabelle 12-4 unten).

IDM16-H028 stellt Modellgrößen im Zeitverlauf dar und sucht dabei die Optima - ein Vorgehen, das im Bereich der Optimierung in den Wirtschaftswissenschaften üblich ist (vgl. Bünner 2019, S. 3ff., Tabelle 12-5 unten). IDM16-W041 wiederum beschreibt die Entwicklung von Populationsbeständen konzeptionell über ein Räuber-Beute-Modell visualisiert, welches ein Standardbeispiel für ein System von Differentialgleichungen darstellt (vgl. Leibniz University IT Services (LUIS) 2018, S. 111ff., Tabelle 12-5 oben).

In der Intervention und im Posttest werden Wirkungsdiagramme methodisch korrekt eingesetzt, wobei Rückkopplungen meist explizit markiert sind.

---

<sup>115</sup> Verglichen mit IDM17-W696 aus Typus 1 ist die Art der Blöcke weniger geeignet, da die Populationen als Verstärkerglieder und nicht als Bestandsgrößen eingetragen wurden.

Tabelle 12-4: Pretest-Darstellungen von Typus 2 (Teil 1).

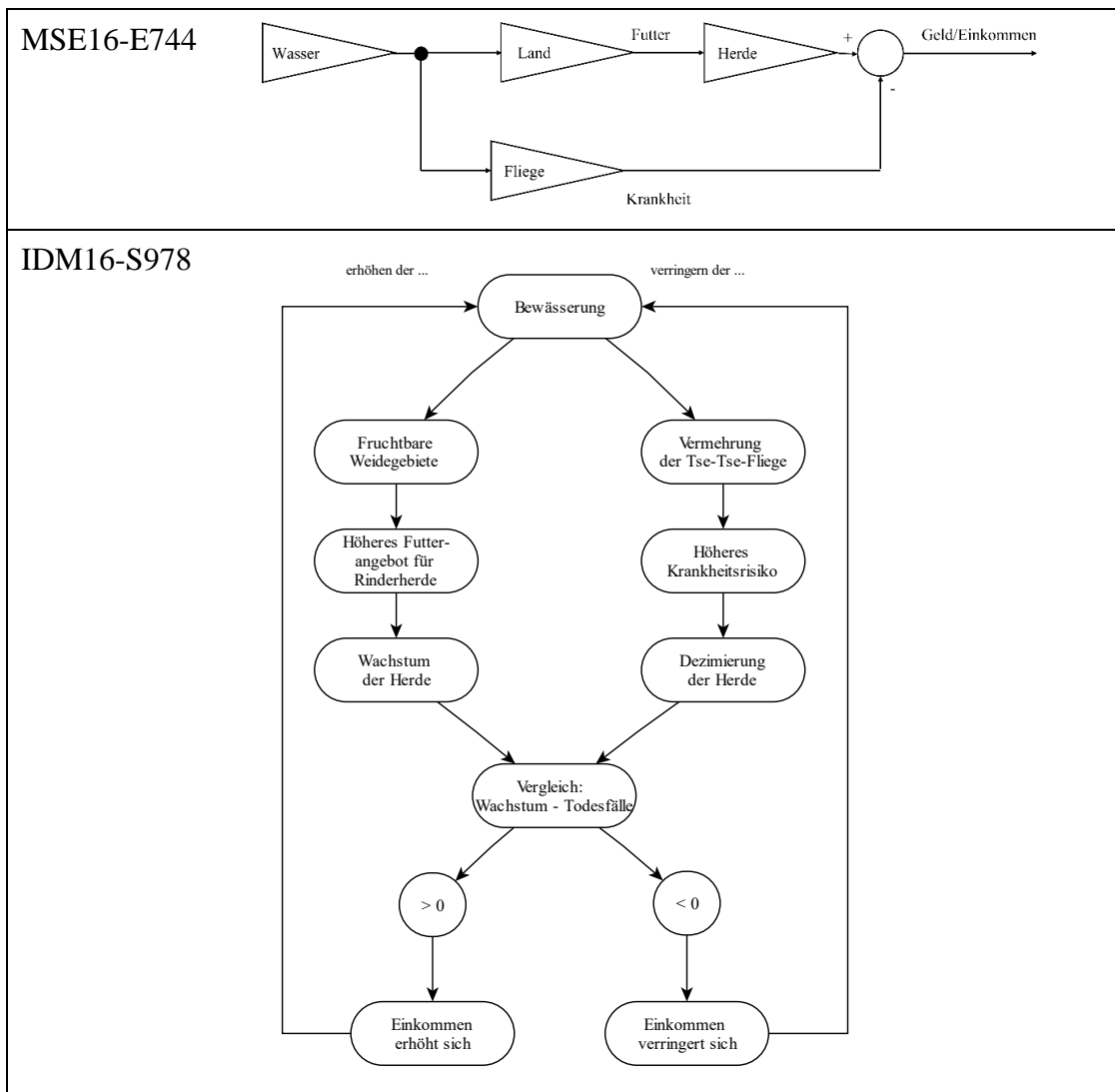
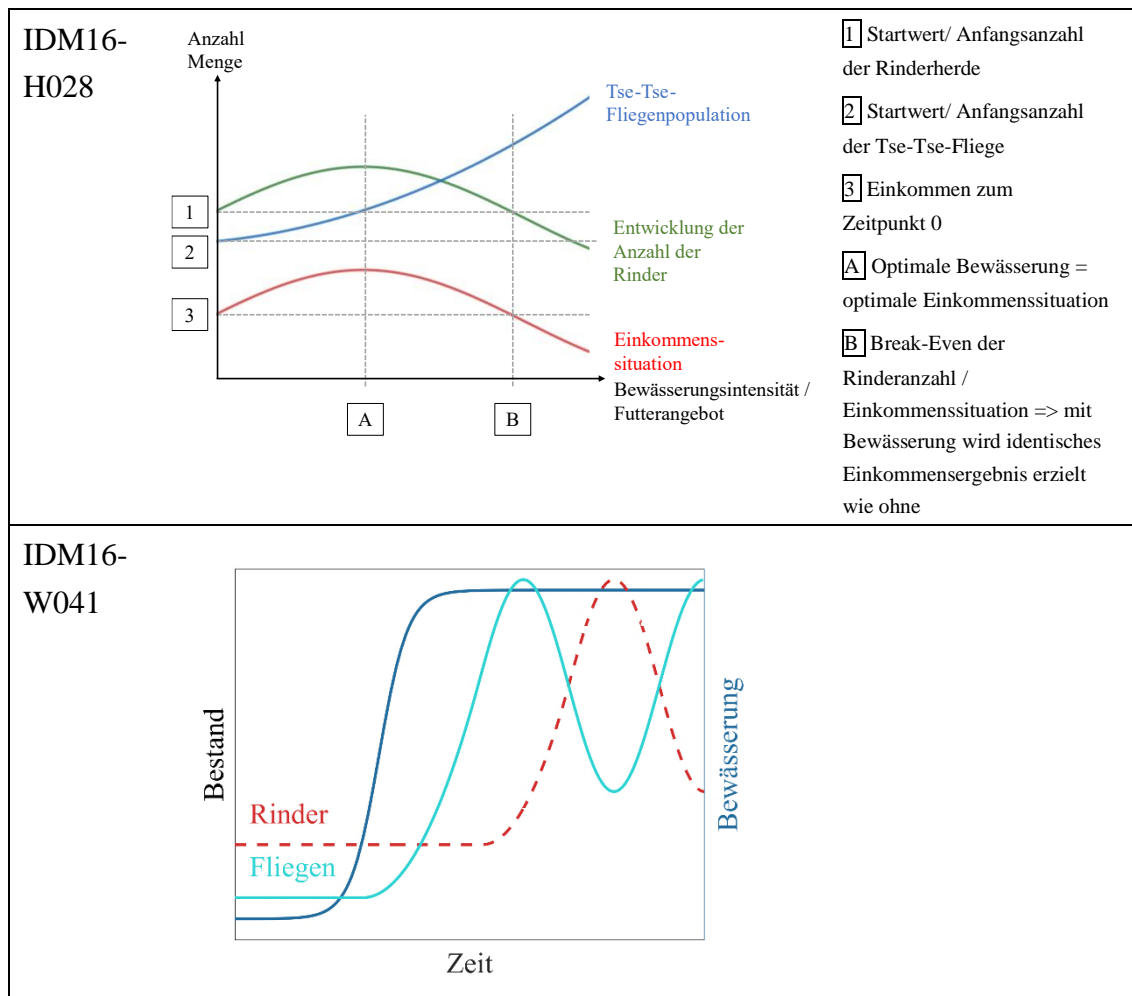




Tabelle 12-5: Pretest-Darstellungen von Typus 2 (Teil 2).



*Der fachliche Hintergrund prägt die Perspektive*

Spezifisch für Typus 2 ist, dass der fachliche Hintergrund nicht nur die Modellierung im Pretest, sondern auch die Wahl der Leitfrage beeinflusst und zudem die Interaktion zwischen Beteiligten prägt:

So nennt IDM16-W041 wirtschaftlich rationales Handeln als Voraussetzung für die Systembetrachtung. Nicht-wirtschaftliche Gesichtspunkte werden explizit ausgeschlossen:

*IDM16-W041: [...] Nächste Voraussetzung. Ich geh davon aus das der Mensch rational ist, rational wirtschaftlich. Das heißt nur weil er irgendwie die Dinge schön findet, was für die Umwelt tun will, wird er keine Anlage bauen. (.)#00:16:24# (IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 103-104)*

Auch im Gespräch über die Modelle anderer Personen stellt IDM16-W041 Bezüge zum eigenen, wirtschaftlich geprägten Modell her, das u.a. den Ölpreis als Modellgröße umfasst.<sup>116</sup>

<sup>116</sup> In den bereitgestellten Dokumenten wurde der Ölpreis als weltwirtschaftliche Einflussgröße an keiner Stelle genannt. Die Referenz hierauf erklärt sich daher eindeutig über den Zugriff auf Hintergrundwissen.

**IDM16-W041:** *Ja gut bei dem sollte man noch das Modell um die ganzen externen Fak/ externen Faktoren noch äh ersetzen weil (...)*#00:26:35#

**IDM16-S359:** *Zum Beispiel?*#00:26:36#

**IDM16-W041:** *Wenns/ wenn der Ölpreis wieder sich auf Dreißig oder Vierzig Dollar (n?) Barrel runtergeht.*#00:26:42#

**IDM16-S359:** *Ja?* #00:26:43#

**IDM16-W041:** *Dann wird man vielleicht eher in ein Ölkraftwerk investieren also in Biogas. Weil da halt (...) der Brennstoff wesentlich billiger ist.* #00:26:54# (IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 162-166)

Hierbei wird auf Vorwissen aus wirtschaftlichen Studienfächern zurückgegriffen und explizit eine quantitative Einordnung vorgenommen, welche die Kenntnis des Teilnehmers zur damaligen Marktsituation abbildet.<sup>117</sup>

In allen Modellen des Typus findet sich die inhaltliche und strukturelle Ähnlichkeit, dass thematisch eine Haupt- und Nebenperspektive berücksichtigt werden, wobei jeweils der Beitrag der technischen Entwicklung zur Hauptperspektive Wirtschaftlichkeit betrachtet wird. Die zentrale Rolle der Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Typus 2 wird durch das Fazit von MSE16-E744 verdeutlicht<sup>118</sup>:

**MSE16-E744:** *Ja das ist für mich die Haupt-Stellschraube, das Hauptproblem. Man hat die Subventionszeit verpasst um das weiterzuentwickeln um das wirtschaftlich zu machen. Und das war der Fehler und dem Fehler hängt man jetzt nach, und das muss man beseitigen. Das heißt, man ist davon ausgegangen man schmeißt das auf den Markt und nach zwanzig Jahren wirds schon wirtschaftlich sein. Das ist nicht der Fall und man muss gucken wie man die Technologie wirtschaftlich bringt. Ansonsten hat die Technologie für mich keine Chance. Weil keiner macht das ohne die Subvention. Wenn dann zudem noch die besten Rohstoffe verboten werden für uns macht das für mich keinen äh keinen Sinn. [...]*(MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 70)

Insgesamt kann bei den Vertretern aus Typus 2 ein perspektivisches Grundverständnis oder Paradigma erkannt werden, das rational wirtschaftliches Denken und Handeln ausdrückt (vgl. Kapitel 4.3.2).

### *Ausgeprägte methodische Modellierung*

Vertreter\*innen des Typus 2 diskutieren auf einer methodisch präzisen Ebene<sup>119</sup>: Sie setzen sich aktiv mit den Strukturen der vorgestellten Modelle auseinander. IDM16-H028 korrigiert sein Modell noch während der Modellvorstellung:

**IDM16-H028:** *Ja also hier hats jetzt . eigentlich muss hier noch ein Pfeil. Die stehen ja negativ zueinander. Das heißt.*

**IDM16-G846:** *Ja*

**IDM16-H028:** *Da gibts halt ne Wechselwirkung wenn die einen steigen, die anderen jetzt zum Beispiel fallen, dann kann es sein, dass die Kapazität konstant bleibt.* (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 54-56)

---

<sup>117</sup> Der Durchschnittspreis für ein Barrel Öl lag 2016 bei 40,76 USD/Barrel (statista.de 2022).

<sup>118</sup> Insbesondere wird (Im Gegensatz zu Typus 1 und 3, vgl. Kapitel 12.1 und 13.1) der Wert von Einsatzstoffen ausschließlich mit Bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit eingeordnet.

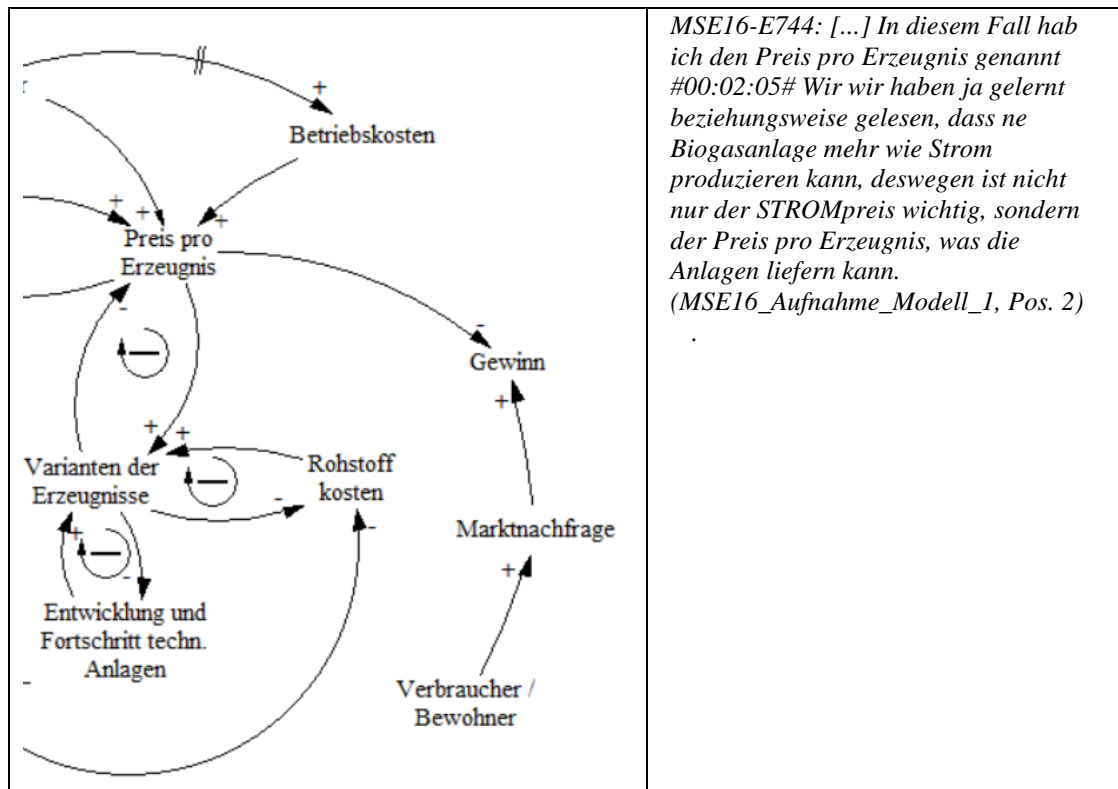
<sup>119</sup> Neben dem benannten grundlegenden Selbstverständnis für die Zusammenhänge zwischen Wirtschaftlichkeit und technischer Entwicklung, dürfte dies auch darauf zurückführbar sein, dass Vertreter\*innen des Typus 2 alle in Gruppen integriert sind, in denen weitere Vertreter\*innen ihres Typus oder von Typus 1 beteiligt sind, so dass mehrere Personen mit ausgeprägten Methodenkenntnissen aufeinandertreffen.

Zudem geht H028 auf Verbesserungsvorschläge zum eigenen Modell ein:

*IDM16-H028: Also. Die Kapazität. Da hast du vielleicht schon recht weil das ist ja eigentlich auch nur der Biogasanlagenmarkt und der ist halt relativ klein. Also insgesamt würde ich schon auch sagen, dass die Kapazität auf jeden Fall ansteigt. (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 72)*

In der Modellierung werden, beispielsweise bei MSE16-E744, darüber hinaus verallgemeinernde archetypische Strukturen eingesetzt (vgl. Tabelle 12-6):

**Tabelle 12-6: Ausschnitt aus der Modellvorstellung von MSE16-E744.**



Diese aggregierende Vorgehensweise, die von einem speziellen Erzeugnis abstrahiert, ermöglicht dem Modellierenden den Bezug zu Grundprinzipien des Marktes herzustellen. Über archetypische Zusammenhänge kann methodisch aus einfachen Strukturmustern ein Referenz-Verhaltensmuster abgeleitet werden (vgl. Sterman 2000, S. 38, Pruyt 2013, S. 43ff., Kapitel 3.2.4).

Zudem ist zu erkennen, dass Typus 2 in der Modellierungsmethodik Annahmen und Systemgrenzen benennt. Beispielsweise notiert MSE16-E744 explizit, welche Rückkopplungskreise zeitverzögert wirken. IDM16-W041 formuliert die Beschränktheit der Fördermenge als Annahme.

*IDM16-W041: Angenommen unter der Annahme dass eben die Fördermenge begrenzt ist. [...] (IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 74)*

Wiederum lokalisiert IDM16-W041 die Bildung des Ölpreises außerhalb der Systemgrenzen des eigenen Modells.

*IDM16-W041: Die Systemgrenze ..Jein, das ist /spielt noch extra mit rein. Aber das wird hier nicht weiter im Detail betrachtet, weil in das rein Wirtschaftliche braucht man zwar noch den Faktor von Ölkosten, aber das wie die Ölkosten zustande kommen ist dann außerhalb vom System, ja. (IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 81)*

Einzelne Vertreter\*innen von Typus 2 betrachten zudem explizit die Stabilität von Systemen. MSE16-E744 bringt hierbei Vorwissen zur Stabilitätsuntersuchung der Regelungstechnik ein (vgl. Lunze 2013, S. 405).

*MSE16-E744: [...] Das heißt, wenn man den Kreislauf einmal durchgeht und die Vorzeichen beachtet, wird dieser POSITIV, das heißt ich hab ne positive Rückkopplung. Das Ganze wär dann instabil. [...] (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 3)*

Es werden also kurzfristige und langfristige Effekte gegeneinander abgewogen.

Hierbei stellen die Vertreter\*innen des Typus 2 die Begrenzung des eigenen Modells auf eine rational-wirtschaftliche Systembetrachtung jedoch nicht infrage.

*Wirkungsdiagramme werden als ungenau wahrgenommen*

Die Vertreter\*innen von Typus 2 setzen Grundprinzipien der Systemmodellierung ein und vernetzen diese mit der Darstellungsform der Wirkungsdiagramme. Da sie ausgeprägte Vorerfahrung in quantitativen Modellierungsansätzen mitbringen, können sie verschiedene Modellierungsformen vergleichen (vgl. Kapitel 3.2). Hierbei erscheint MSE16-E744 die qualitative Modellierung mit Wirkungsdiagrammen nicht prägnant genug.

*MSE16-E744: Und mir fehlt so ein bisschen. Nur Wörter sind ja gut. Und das ist dann prägnant mit einem Schlagwort. Aber man kann nur die Wörter oder das Verhalten auf zwei verschiedene Art und Weisen interpretieren [...] (MSE16-Feedback, Pos. 12)*

Beispielsweise bemängelt MSE16-E744 den reduzierten Sprachumfang der Diagramme, bei denen keine Bedingungen hinterlegt werden:

*MSE16-E744: Ich hab das ja zwischen jedem / zwischen fast jeder äh Komponente, so ne einfache if-Bedingung. Könnte ich jetzt zwischen jeder Komponente einfügen. Wenn meine Entwicklung fruchtet, dann ist es natürlich gut, wenns nicht fruchtet, hab ich noch mehr Geld rausgeworfen zum Beispiel. [...] (MSE16-Feedback, Pos. 25)*

Diese Betrachtung entspricht einer Einschätzung, die Modellierer\*innen der quantitativen System Dynamics-Modellierung vertreten: Systemarchetypen und qualitative Modelle sind eine gute Grundlage, um Einblicke in ein System zu gewinnen. Sie sind jedoch nicht ausreichend, um Zusammenhänge im Detail „nach innen“ zu modellieren:

*„Understanding model behavior goes beyond the invocation of simple archetypes such as “the oscillation is caused by negative loops with delays” [...] While true, these statements don’t provide the deep insight into model structure and behavior required to develop your intuition about dynamics or your ability to identify high leverage policies. You should be able to explain why a model does what it does in detail, in terms your client can understand, and without contradicting yourself.“ (Sterman 2000, S. 767).*

### *Zusammenfassung Typus 2*

Mit ausgeprägten Vorkenntnissen in der Modellierungsmethodik und disziplinärer Erfahrung im Umfeld von Wirtschaft und Technik repräsentiert Typus 2 Ingenieurstudierende, die auf bekanntes Methodenwissen zurückgreifen Die disziplinäre Prägung beeinflusst die perspektivische Betrachtung in der Modellierung

in Form eines wirtschaftlich-technischen Betrachtungshorizonts, wobei die Wirtschaftlichkeit im Fokus steht.

### 12.3 Typus 5: Der Novize der Systemmodellierung

Typus 5 umfasst die Teilnehmenden, die in der Intervention Zusammenhänge aus verschiedenen Perspektiven betrachten, ohne dabei Wirkungsdiagramme einzusetzen.

Die Vertreter\*innen des Typus 5 sind damit in der Typologie auf einer elementaren Stufe der Methodenkenntnisse verortet, während die Anzahl der im Modell berücksichtigten Perspektiven variiert.

#### *Modellfall Typus 5: Der Novize der Systemmodellierung*

Der Novize der Systemmodellierung studiert Technik im Lehramtsstudiengang mit dem klaren Berufsziel Lehrer bzw. Lehrerin. Das Erkenntnisinteresse im Studium liegt im Bereich sozialer, kommunikativer und didaktischer Kompetenzen. Der Novize der Systemmodellierung ist Anfänger in der verhaltenserklärenden Modellierung und besitzt keine Vorkenntnisse in der Betrachtung zeitkontinuierlicher Systeme. Stattdessen ist er eher mit abbildenden Modellen und Visualisierungen vertraut. Dies zeigt sich im Pretest, wo oft auf anschaulich-piktorale Repräsentationen zurückgegriffen wird.

Bei der Modellierung der Energiewende berücksichtigt der Novize der Systemmodellierung neben technischen gesellschaftliche bzw. umweltbezogene Systemgrößen und zeigt sich somit einem mehrperspektivischen Zugang zum Themenfeld gegenüber aufgeschlossen. Der Umgang mit Wirkungsdiagrammen stellt jedoch eine Herausforderung dar. So werden in allen Phasen der Studie statt Wirkungsdiagrammen andere Darstellungsformen eingesetzt, die keine verhaltenserklärenden Zusammenhänge abbilden.

#### *Soziodemografische Merkmale von Typus 5*

Alle Fälle des Typus 5 studieren einen Lehramtsstudiengang. Die Lehre stellt ein bewusst gewähltes Berufsfeld dar; die Studienmotivation ist bei den Vertreter\*innen des Typus 5 ausgeprägter auf den Umgang mit Schülern und den Erwerb sozialer Kompetenzen fokussiert als bei anderen Teilnehmenden: Die Personen des Typus 5 freuen sich auf die lehrende Tätigkeit und ihren gesellschaftlichen Beitrag. So äußert PHT16-M113: „Freue mich auf die Schule und Kinder zu unterrichten. Seit meinem FsJ und auch seit dem ISP<sup>120</sup> weiß ich, dass es das Richtige ist.“ (Motivation Studium, PHT16-M113). PHT16-N102 hofft im Studium „selbst viel zu lernen für das Leben

---

<sup>120</sup> FsJ: Freiwilliges soziales Jahr, ISP: integriertes Semesterpraktikum

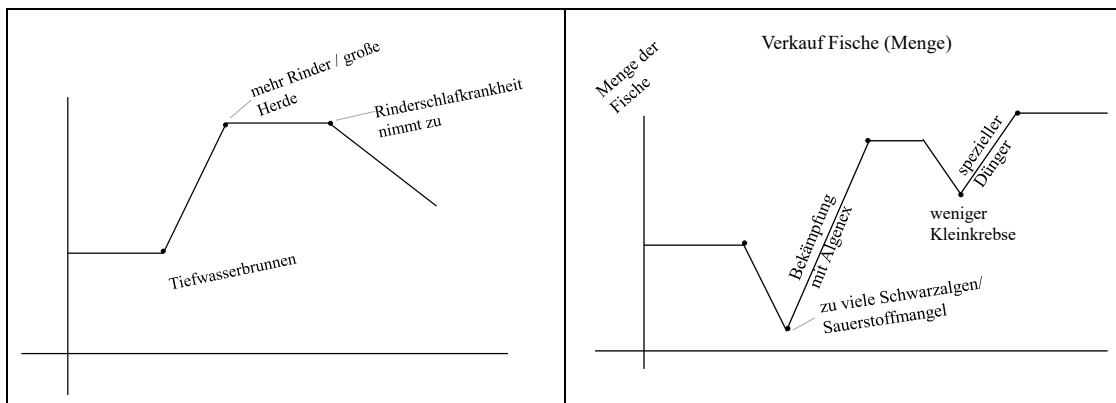
[und seinen] Teil für eine bessere Zukunft beizutragen“ (Motivation Studium, PHT16-N102).

Das Interesse an MINT-Fächern wird über „viel Alltags- und Lebensweltbezug“ (Erklärung leichtes Lernen, PHT16-B114), ein gutes Verständnis für Erklärungen bzw. positive Rückmeldung bei Übungsaufgaben (Erklärung leichtes Lernen, PHT16-N102 und PHT16-M113) begründet.

Im Gegensatz zu den anderen Typen ist bei Typus 5 mehrheitlich berufliche Vorerfahrung durch Ausbildung (PHT16-B114), Praktika und Nebenjob (PHT16-M113) bzw. ein vorheriges Studium (PHT16-N102) angegeben. Es kann somit von einer bewussten Entscheidung für das Lehramtsstudium ausgegangen werden.

### *Keine Vorkenntnisse in der Systemmodellierung*

Die Vertreter\*innen von Typus 5 betreten mit der Systemmodellierung ein neues Feld, in das sie sich methodisch schwer efinden. Im Pretest werden bildhafte und vernetzte Darstellungen eingesetzt. Die konzeptionellen Herausforderungen mit der Betrachtung zeitkontinuierlicher Systeme sind am Beispiel der Tests von IP17-A372 in Abbildung 12-2 dargestellt.



**Abbildung 12-2: Pretest-Darstellung (links), Posttest-Darstellung (rechts) von IP17-A372**

Erkennbar ist, dass die Vorstellung von zeitlicher Dynamik durch ein zeitdiskretes Konzept geprägt ist. Die etappenartige, stückweise lineare<sup>121</sup> Beschreibung, welche Tendenzen wie „fallend“, „steigend“ oder „gleichbleibend“ ausdrückt, wird im Pre- und Posttest eingesetzt (vgl. Abbildung 12-2). Zunehmende Komplexität wird über die Anzahl von Ereignissen, abgebildet. Diese sind durch Punkte in der Abbildung dargestellt. Strukturzusammenhänge zwischen Systemgrößen sind bei dieser Darstellungsform nicht vorhanden.<sup>122</sup>

<sup>121</sup> Der „kantige Verlauf“ der stückweise linearen Interpolation der Zeitgraphen wird mathematisch über nicht differenzierbare Funktionen beschrieben (vgl. Papula 2014, S. 129).

<sup>122</sup> Dass Bestandsgrößen keine Unstetigkeiten aufweisen, ist Teil der Stock-Flow-Modellierung, die in der Studie vermittelt wird, als (implizite) Vorkenntnis aber bei den Gruppen IDM16, IDM17 und MSE16 vorliegen. Sie lässt sich neben der Beschreibung über die System Dynamics Methodik (vgl.

In Tabelle 12-7 sind die Ausprägungen der Modelle aus Pretest, Intervention und Posttest der Fälle des Typus 5 gegenübergestellt.

**Tabelle 12-7: Übersicht über Ausprägungen von Modelldarstellungen bei Typus 5.**

Fall	Pretest	Intervention	Posttest	Vernetzung von Perspektiven
PHT16-B114	bildhaft-vernetzend	kein Wirkungsdiagramm	fehlerhaftes Wirkungsdiagramm	zwei oder mehr Perspektiven
PHT16-M113	bildhaft-vernetzend	kein Wirkungsdiagramm	fehlerhaftes Wirkungsdiagramm	zwei oder mehr Perspektiven
PHT16-N102	bildhaft fallunterscheidend	kein Wirkungsdiagramm	kein Wirkungsdiagramm	zwei oder mehr Perspektiven
IP17-A372	stückweise linear	kein Wirkungsdiagramm	kein Wirkungsdiagramm	zwei oder mehr Perspektiven
IP17-A379	Basisverlauf Graph	kein Wirkungsdiagramm	kein Wirkungsdiagramm	zwei oder mehr Perspektiven

Erklärung für diese Darstellungsform, die Ereignisse punktiert abbildet und auf einer Graphik ohne vollständige Achsenbeschriftung einordnet, kann die fehlende Erfahrung in der Betrachtung dynamischer Systeme sein. Hierin unterscheidet sich die Ausprägung von Typus 5 deutlich von derjenigen der Typen 1 und 2, was sich über die Vorkenntnisse plausibilisieren lässt: Die Lehramtsstudierenden des Typus 5 bringen keine dokumentierte Vorerfahrung in der Systemmodellierung mit.

Die geringe Erfahrung im Umgang mit zeitkontinuierlicher Modellierung manifestiert sich auch im Zwischentest: Hier wird von PHT16-M113, PHT16-N102 und PHT16-B114 jeweils ein diskreter, schrittweiser Lösungsansatz notiert<sup>123</sup>. Beispielsweise erläutert PHT16-M113 das eigene Vorgehen wie folgt:

*Frage: Bitte erläutern Sie, wie Sie bei der Lösung der Aufgabe vorgegangen sind.*

*Antwort: Pro Minute die Füllmenge ausgerechnet und dann verbunden*

*Frage: Gibt es aus Ihrer Sicht eine allgemeine Methode zur Bestimmung des Füllstands? [...]*

*Antwort: -(Zufluss-Abfluss) x Zeit*

Die Formel  $(\text{Zufluss} - \text{Abfluss}) \cdot \text{Zeit}$  zeigt, dass die Berechnung jeweils schrittweise mit Bezug auf den vorherigen Wert durchgeführt wurde. Hierin zeigt sich, ähnlich wie bei der Darstellung von Etappen in Abbildung 12-2, dass Typus 5 anstelle eines allgemeinen Lösungsansatzes zur Beschreibung zeitdynamischer Systeme nach lokalen Lösungen sucht und somit eher die Textur als die Gestalt der Problemstellung

---

Booth Sweeney und Sterman (2000), Sterman (1994) etwa aus den Eigenschaften der Lösung von Differentialgleichungen ableiten (vgl. Papula 2014, 266ff.).

<sup>123</sup> Die Bearbeitung des Zwischentests ist bei IP17-A372 und IP17-A379 unvollständig.

betrachtet (vgl. Kapitel 4.3.1). Hierbei wird ein zeitdiskreter Darstellungsansatz verwendet.

Im Post-Test erstellen die Teilnehmer\*innen aus Typus 5 ein fehlerhaftes Wirkungsdiagramm oder nutzen eine andere Darstellung. Obgleich die Ursache hierfür nicht eindeutig geklärt werden kann, da nach der Intervention keine weiteren Daten hierzu erhoben wurden, kann neben fehlenden Darstellungsmitteln und Präkonzeptionen eine stärkere Salienz anderer Darstellungsformen (vgl. Kapitel 4.4.6) den fehlenden Einsatz von Wirkungsdiagrammen plausibilisieren. Möglicherweise sind bei den Vertreter\*innen des Typus 5 Repräsentationen von Systemen eher durch schematische Konzepte geprägt. Einen Hinweis hierauf bietet die Äußerung von PHT16-N102, der Komplexitätsreduktion als Aufgabe der Lehrenden beschreibt.<sup>124</sup>

Andererseits betrachten die Vertreter\*innen des Typus 5 das System Energiewende, mit stärkerem Bezug zu Mehrperspektivität, als dies bei anderen Typen der Fall ist.

#### *Interesse und Herausforderung durch Mehrperspektivität*

Alle Fälle des Typus 5 berücksichtigen im Modell zwei oder mehr Perspektiven. Verglichen mit anderen Typen fällt ihnen jedoch die Integration von Perspektiven in einem Systemmodell schwerer: So finden sich in den Modellen entweder Gegenüberstellungen zweier Perspektiven (IP17-A379, PHT16-M113) oder Elemente mehrerer Perspektiven werden notiert, ohne dass hierbei vernetzte Relationen eingesetzt werden (PHT16-B114 und PHT16-N102).

In den Modellen ist in der Leitfrage mindestens eine der Perspektiven *Umwelt* oder *Gesellschaft* vertreten. Dabei werden häufiger Soft Variables eingesetzt, die sich weniger klar in Relation zu anderen Größen einordnen lassen. Hier stellt die Wahl einer geeigneten Aggregationsebene die Novizen der Systemmodellierung vor Probleme. Herausforderungen im Umgang mit Mehrperspektivität kann über die Wahl einer geeigneten Aggregationsebene erklärt werden: Wenn verschiedene Themenbereiche vernetzt werden, ist dies einfacher, wenn zugehörige Modellgrößen eine vergleichbare Aggregationsebene aufweisen. Während Vertreter\*innen der Typen 1 und 2 dies bewerkstelligen, wird die Wahl der Aggregationsebene, die auch als fortgeschrittene Kenntnis eingeordnet wird (vgl. Schaffernicht und Groesser 2016, S. 64), von Typus 5 im Rahmen der kurzen Interventionsstudie nicht erreicht.

In der Interaktion zeigen Vertreter\*innen von Typus 5 keine expliziten Gespräche über methodische Fehler und Herausforderungen: Hieraus kann nicht geschlossen werden, dass ihnen die Unvollständigkeit des Vorgehens nicht bewusst wäre.

---

<sup>124</sup> Vgl. Anhang D.9.



Es ist jedoch, anders als etwa bei Typus 4, keine aktive Reflexionsphase zur Modellierungsmethodik im Datenmaterial vorhanden.

Während IP17-A379 und PHT16-M113 im gesamten Gespräch keine Herausforderungen benennen, beschreibt IP17-A372 einen inhaltlich veränderten Themenfokus:

*IP17-A372: „Ich wollt eigentlich Gesellschaft und Politik machen, glaub ich. Und bei mir ist das eher in Wirtschaftlichkeit rausgelaufen? Okay. (Transkript\_IP17\_Gruppe2, Pos. 21).<sup>125</sup>*

Hier zeigen sich der Suchprozess nach einer der Leitfrage und eine Änderung des thematischen Schwerpunkts.

Bei PHT16-B114 bestimmt eine enge Orientierung an den Informationstexten den Umfang und die Grenzen des Modells. Es resultiert eine detaillierte, Mindmap-ähnliche Darstellung, in der Textinformationen zusammengefasst sind, ohne dass Relationen markiert sind.

Im Gegensatz dazu modelliert PHT16-N102 auf einer Metaebene. Es wird von der konkreten Fragestellung rund um Biogasanlagen abstrahiert und eine globalere Betrachtung zur Landnutzung vorgenommen. Hierbei berücksichtigt PHT16-N102 nicht die zeitliche Systementwicklung, sondern referenziert auf verschiedene Betrachtungsebenen (vgl. in Tabelle 8-19 oben).

*PHT16-N102: [...] und das ist natürlich auch abhängig das ganze Geschehen vom gesellschaftlichen Bewusstsein. Das ist auch abhängig vom einzelnen Bürger, was der macht, nicht nur die Politik und die Wirtschaft. [...] (PHT16\_Modelle\_G2, Pos. 6)*

Hier spiegeln sich verschiedene Systemebenen wider (vgl. 2.1.6). Möglicherweise begründen diese die Herausforderung im Umgang mit der Modellierungsmethode, da in Wirkungsdiagrammen hierarchischen Ebenen nicht berücksichtigt werden.<sup>126</sup>

Zusammengefasst ist den Vertretern des Typus 5 durchaus ein Interesse in der mehrperspektivischen Systembetrachtung erkennbar. Die methodische Umsetzung entspricht jedoch nicht der vorgeschlagenen Darstellungsform mit Wirkungsdiagrammen.

*Im Posttest wird kein korrektes Wirkungsdiagramm erstellt*

Als gemeinsames Modellierungsmerkmal des Typus 5 ist der fehlende oder fehlerhafte Einsatz von Wirkungsdiagrammen im Posttest zu nennen.

---

<sup>125</sup> Diese Einschätzung gibt die Inhalte des Modells nur teilweise wieder, da angesichts der hohen Aggregationsebene verschiedene Größen benannt sind.

<sup>126</sup> Obgleich die hierarchische Systembetrachtung gerade bei multidisziplinären Zusammenhängen interessant sein kann, lässt sie sich in gängiger Software der Systemmodellierung kaum umsetzen. Möglich ist die Arbeit mit verschiedenen Hierarchieebenen etwa MATLAB Simulink, das im Ingenieurwesen oft zur Modellierung technischer Systeme genutzt wird (Elmasry und Größler 2018, S. 473, The MathWorks Inc. 2022). Auch die Modellierung mit Wirkungsdiagrammen ist prinzipiell auf verschiedenen Ebenen mit unterschiedlich aggregierten Größen möglich, wurde in der vorliegenden Studie jedoch nicht vorgestellt.

Im Posttest wird auf andere Darstellungsformen als Wirkungsdiagramme zurückgegriffen oder Wirkungsdiagramme werden methodisch fehlerhaft eingesetzt, indem beispielsweise die Polaritätsbeschriftungen von Pfeilen inhaltlich interpretiert wurden. Diese Eigenschaft unterscheidet Typus 5 von anderen Typen.<sup>127</sup>

Gründe für die Nicht-Nutzung von Wirkungsdiagrammen durch die Vertreter\*innen von Typus 5 sollen im Folgenden reflektiert werden. Neben der benannten Erklärung, dass andere Präkonzeptionen im Umgang mit komplexen Systemen fördern können, und der möglichen Routine von Lehramtsstudierenden, Lehrmaterialien didaktisch reduziert aufzubereiten (vgl. Lehner 2019, S. 114 ff.) könnten motivationale und situative Gründe, wie der Durchführungszeitpunkt der Studie und die allgemeine Arbeitsbelastung der Teilnehmenden Einfluss haben. Die Notiz von PHT16-N102 im Zwischentest „Leider hab ich grad kein Kopf dafür, mir genauerer Gedanken darüber zu machen.“ deutet darauf hin, dass eine angespannte Situation einzelner Beteiligter vorgelegen haben könnte.

Da anderer Vertreter\*innen der Gruppen PHT16 und IP17 mit ähnlichen Vorkenntnissen in der Modellierung Wirkungsketten oder -diagramme einsetzen, und daher anderen Typen zugeordnet wurden, kann angenommen werden, dass die Aufgabenstellung der Intervention für diese Zielgruppe nicht generell unverständlich oder unzugänglich war.<sup>128</sup> Auch ist bei Typus 5 nicht pauschal fehlendes Engagement während der Intervention erkennbar: Tatsächlich sind die Darstellungen einiger Vertreter\*innen von Typus 5 unter Einsatz ihrer Darstellungsmethode umfangreich.<sup>129</sup>

Mit den verfügbaren Daten können Zusammenhänge nicht abschließend geklärt werden. Festzuhalten ist jedoch, dass zumindest für manche Zielgruppen der Einsatz von Wirkungsdiagrammen in der gegebenen Situation keinen intuitiven Lösungsweg darstellt. Am plausibelsten scheint hier die Erklärung, dass andere Darstellungsformen für die Fälle diese Typus salienter waren. Die relativ häufige Nennung sozialer statt fachlicher Kompetenzen unter den Studienzielen geben bei den Fällen des Typus 5 einen Hinweis darauf, dass die Stärken und Erfahrungen dieser Personen verglichen mit Vertretern anderer Typen der Studie eher in der handlungsorientierten Gestaltung von Lehr-Lernaktivitäten, als in analytisch-abstrahierenden Tätigkeiten liegen.

---

<sup>127</sup> Bei Typus 1 und Typus 2 sind auch andere Darstellungsformen als Wirkungsdiagramme im Post-Test präsent. Es handelt sich hierbei jedoch um Blockschaltdiagramme, die eine andere Form der verhaltenserklärenden Modellbildung darstellen.

<sup>128</sup> Für PHT16 kann der Einsatz von Wirkungsdiagrammen für Fälle beobachtet werden, die nur am ersten Termin der Studie teilnahmen und deswegen nicht im Datensatz der Typologie berücksichtigt wurden.

<sup>129</sup> Der Anreiz zur Beteiligung an der Studie war bei den Gruppen PHT16 und IP17 durch eine Anwesenheitspflicht im Seminar gegeben. In der Gruppe IP17 wurde zudem unter den Personen, die an der gesamten Studie teilnahmen, zwei Buchgutscheine verlost. In den Studiengruppen IDM16 und IDM17 wurde die Teilnahme an der Studie als Prüfungsvorleistung angerechnet.

### *Zusammenfassung*

Typus 5 zeigt ein starkes Interesse für soziale und lehrende Aktivitäten. Die Systemmodellierung ist methodisch neu und für die Teilnehmenden herausfordernd. Gleichzeitig ist ein Interesse an Mehrperspektivität, insbesondere auch mit Bezug auf Gesellschaft und Umwelt, erkennbar. Dies verleitet die Teilnehmenden zu einer teils umfangreichen Beschäftigung mit Zusammenhängen aus diesen Blickwinkeln, die jedoch nicht mit der Darstellungsform der Wirkungsdiagramme abgebildet werden.

## **12.4 Vergleich der Randtypen**

Die Ausprägungen verschiedener sekundärer Merkmale des Kategoriensystems sind für die drei Randtypen in Tabelle 12-8 gegenübergestellt.

Während für Typus 1 ein fachliches Interesse am Themenfeld erneuerbare Energien vorliegt, zeigt sich Typus 5 allgemein der Betrachtung gesellschaftlicher Fragestellungen gegenüber aufgeschlossen. Im Gegensatz dazu zeigt Typus 2 eine starke Fixierung auf das eigene Studienfachgebiet mit wirtschaftlich-technischem Schwerpunkt. Das Konzept der Salienz (vgl. Kapitel 4.4.6) kann erklären, wieso es den Typen mit besserem inhaltlichen oder methodischen Bezug leichter fällt sich auf die mehrperspektivische Modellierung mit Wirkungsdiagrammen einzulassen. Auch die Formulierung von Modellgrößen auf ähnlichem Aggregationsniveau können eine Modellierung fördern. Unterschiede zeigen sich bei den Typen auch in der Wahl der Studienfächer und der Studienmotivation.

Die Randtypen der mehrperspektivischen Modellierer (Typus 1), themenzentriert Methodenlernenden (Typus 2), sowie Novizen der Systemmodellierung (Typus 5) zeigen auch bezüglich der dargestellten sekundären Variablen, die über verschiedene erhobene Daten eingebracht wurden, eine gewisse Homogenität. Insbesondere stammen die Vertreter\*innen der Randtypen mehrheitlich aus denselben oder ähnlichen Studiengängen, was ähnliche Ausprägungen im Bereich der methodischen und fachlichen Vorkenntnisse erklärt. Trotzdem stellen die Randtypen mit ihren eher extremen Ausprägungen eines Typologiemerkmals bezogen auf das gesamte Sample eine Minderheit dar: nur ein Drittel der Teilnehmenden wurde diesen Typen zugeordnet.

Demgegenüber wurde die Mehrheit der Teilnehmer\*innen den zwei Zentraltypen zugeordnet, die zentral im Merkmalsraum verortet sind. Diese beiden Typen sind bezüglich ihrer sekundären Merkmalsausprägungen heterogener. Sie werden daher in der folgenden Charakterisierung und Zusammenhangsanalyse stärker in der Breite ihre Merkmalsausprägungen dargestellt (vgl. Strübing 2018, S. 209).

**Tabelle 12-8: Gegenüberstellung der Randtypen.**

<b>Merkmal</b>	<b>Typus 1 Zusammenfassung</b>	<b>Typus 2 Zusammenfassung</b>	<b>Typus 5 Zusammenfassung</b>
<b>Interesse an Erneuerbare Energien</b>	teilweise Vorkenntnis aus Bachelor-Studium oder privates Interesse	wenig konkrete Vorkenntnisse	wenig konkrete Vorkenntnisse benannt; Interesse an sozialen und gesellschaftlichen Zusammenhängen
<b>Äußerung zur Studienwahl</b>	Forschung und Entwicklung, interdisziplinär	technische / wirtschaftliche Studiengänge (Qualitätsingenieur/ Controller, Vertriebsingenieur und Prozessplaner)	Lehre oder andere soziale Tätigkeiten (bildungswissenschaftliche Forschung, Vertrauenslehrer etc.)
<b>Äußerung zur Studienmotivation</b>	intrinsische Motivation zum "Lernen", fachliches Interesse, Affinität zu Forschung	identifiziert mit Ziel des beruflichen Aufstiegs	Lebensweltbezug und lehrende oder soziale Tätigkeit - Schwerpunkt nicht-fachliche Kompetenzen
<b>Anzahl Perspektiven (Kategoriensystem)</b>	mindestens drei Perspektiven berücksichtigt	Haupt- und Nebenperspektive	unterschiedliche Ausprägungen Modellgrößen aus verschiedenen Bereichen nicht kohärent in Relation gesetzt
<b>Kategorie Aggregation</b>	keine besondere Aggregation	aggregiert oder "normal" (dann meist auf archetypische Zusammenhänge des Themenbereichs Wirtschaft bezogen)	wenig aggregiert oder Aggregation von Themen ohne direkten Bezug zwischen Modellgrößen
<b>Darstellung Pretest</b>	vernetzende Darstellung mit pfeilartigen Diagrammen	vernetzend, Rückgriff auf bekannte Darstellungsformen, inkl. dynamischer Komponenten	bildhaft und andere
<b>Darstellung Posttest</b>	vernetzende Darstellung über Wirkungsdiagramm oder Blockschaltendiagramm	Wirkungsdiagramme mit Rückkopplungen oder Blockschaltendiagramm	kein Wirkungsdiagramm im Posttest oder fehlerhafter Einsatz
<b>Zwischentest</b>	mathematisch über (graphische) Integration gelöst; Stock-Flow-Darstellung wird zur Visualisierung eingesetzt	prinzipiell über graphische Integration gelöst. Wenn bekannt, wird die Stock-Flow-Darstellung zur Visualisierung eingesetzt	unterschiedliche Ausprägungen; kein Bezug zu Integration oder Flächenbetrachtung: Es wird ein diskretisierter Ansatz zur Lösung gesucht oder auf andere Ideen (rekursiv / induktiv) zugegriffen
<b>Besonderheiten</b>	Grundkonzepte der Modellbildung aus anderen Fächern eingebunden	Rückgriff auf Archetyp-Modelle, Kontext Markt / Wirtschaft	Zugang zu Wirkungsdiagrammen noch nicht erreicht
<b>Herausforderungen</b>	keine expliziten Herausforderungen benannt	methodische Herausforderungen werden benannt und mit anderen bekannten Modellierungsformen verglichen	teils inhaltliche Herausforderungen benannt, aber keine selbst benannten Herausforderungen in Bezug auf die Modellierungsmethodik
<b>Interaktion</b>	inhaltliche und methodische Rückfragen bei anderen Teilnehmenden (z.B. bzgl. unbegrenztem Wachstum)	inhaltliche und methodische Rückfragen und Erkenntnisse (u.a. iterativer Charakter der Modellierung)	Moderation

## 13 Charakterisierung und Zusammenhangsanalyse der Zentraltypen

In diesem Kapitel werden die Typen vorgestellt, die zentral in der Typologie verortet sind. Zu diesen „Zentraltypen“ gehören der *geleitet mehrperspektivisch Lernende* (Typus 3), sowie der *themenzentriert Methodenlernende* (Typus 4).

Die Typen werden mit ihren Eigenschaften beschrieben und im Vergleich zu den Randtypen eingeordnet. Zudem erfolgt eine Zusammenhangsanalyse mit Bezug auf sekundäre Daten und die Kategorien der qualitativen Inhaltsanalyse.

Gemäß den Prinzipien der Typenbildung (vgl. Kapitel 10) weisen Zentraltypen, genau wie Randtypen der Typologie, bezüglich der Merkmalsdimensionen der Typologie möglichst homogene Eigenschaften auf. Die Ausprägung sekundärer Merkmale wiederum ist bei den Zentraltypen deutlich vielfältiger ausgeprägt. Neben der Beschreibung der Merkmalsausprägungen wird in diesem Kapitel somit die Bandbreite der sekundären Merkmale aufgezeigt. Dies ist auch darin begründet, dass die Zentraltypen zwei Drittel der ausgewerteten Fälle umfassen. Durch Modellfälle werden zentrale Eigenschaften der Zentraltypen zusammengefasst (vgl. Kelle und Kluge 2008, S. 106 und Kuckartz 2018, S. 107).

### 13.1 Typus 3: Der geleitet mehrperspektivisch Lernende

Typus 3 repräsentiert Teilnehmende, die mindestens zwei Perspektiven im Modell integrieren. Anders als Typen 4 und 5 wird die Modellierungsmethodik in der Studie korrekt eingesetzt. Im Gegensatz zu Typus 1 und 2 werden jedoch kaum explizite methodische Vorkenntnisse genutzt. Da Typus 3 konsequent perspektivübergreifend arbeitet und methodisch gemäß der Aufgabenstellung vorgeht, wird dieser Typus als geleitet mehrperspektivisch Lernender bezeichnet.

Der Typus umfasst Vertreter\*innen aus verschiedenen Lehramts- und Ingenieurstudiengängen, die unterschiedliche Vorkenntnissen in der Modellierung dynamischer Systeme mitbringen.

*Modellfall Typus 3: Geleitet mehrperspektivisch Lernende*

Das Interesse an Technik bzw. MINT-Themen im Allgemeinen ist Ausgangspunkt für die Wahl eines technisch orientierten Studiengangs bei den geleitet mehrperspektivisch Lernenden. Mit dem Studium verbinden sie die Aussicht auf Jobsicherheit und Entwicklungsperspektiven. Die Studienvertiefung wird zur Erweiterung fachlicher und sozialer Kompetenzen gewählt

Auch ohne ausgeprägte Vorkenntnisse in der Modellierung oder im Bereich regenerativer Energien entwickeln Vertreter\*innen dieses Typus ein Modell, das eine mehrperspektivisch formulierten Fragestellung beantwortet. Die Modellierungsmethodik wird korrekt eingesetzt, was sich auch im Posttest-Modell bestätigt. Bei der Modellierung erleichtert die Wahl einer geeigneten Aggregationsebene die Auswahl von Informationen aus dem Text und ggf. die Vernetzung mit Hintergrundwissen. In der Interaktion mit anderen Teilnehmer\*innen wird der Bearbeitungsstand des eigenen Modells reflektiert. Modelle, die andere Perspektiven berücksichtigen, stehen geleitet mehrperspektivisch Lernende interessiert gegenüber. Das Gespräch mit anderen Teilnehmenden ermöglicht es dem geleitet mehrperspektivisch Lernenden, das eigene Verständnis von Modellierung und Mehrperspektivität weiterzuentwickeln.

*Interesse an MINT-Fächern*

Lieblingsfächer aus dem MINT-Bereich bilden ein gemeinsames Merkmal der Vertreter\*innen von Typus 3. Eine bildungsbiographisch begründete Technikaffinität wird von verschiedenen Personen geäußert: Die Entscheidung für ein technisches Studium wird mit der Faszination für spezifische Technologien (Faszination Berufsvision MSE16-W123), „ein großes Interesse an technischen Produkten“ (Faszination Berufsvision, MSE16-H808) und der „praktische[n] Erfahrung“ im anstrebtten Berufsfeld (IDM17-H959, Reflexion Interesse) begründet.

Da Typus 3 Vertreter\*innen aus Lehramts- und Ingenieurstudiengängen umfasst, unterscheiden sich die fachlichen Ausprägungen und Motivation im Studium: Als Studienmotivation werden von Masterstudierenden der ingenieurwissenschaftlichen Fächer Jobsicherheit, sowie Aufstiegs- und Karrierechancen benannt: Im Anschluss an ein Maschinenbau- oder Wirtschaftsingenieurstudium sollen im Masterstudium fachliche Kompetenzen erworben werden. Produktion, Entwicklung und Management werden als Tätigkeitsfelder in Betracht gezogen, wofür die Studierenden Führungs- und Sozialkompetenzen erwerben möchten (Kompetenzen im Studium, mehrere Fälle aus Typus 3).

Bei Lehramtsstudierenden des Typus 3 ist neben dem Berufsziel Berufsschullehramt auch die Option zwischen industrieller und schulischer Laufbahn benannt. Die

Lehramtsstudierenden aus Typus 3 nennen fachliche oder technikedidaktische Kompetenzziele und zeigen eine weniger sozialwissenschaftlich geprägte Profilierung als die Vertreter\*innen des Typus 5 aus dem Studiengang IP17.

#### *Modellierungsvorkenntnisse sind heterogen*

Vertreter\*innen des Typus 3 zeigen unterschiedliche Vorkenntnisse im Zwischentest: Während viele Personen die ersten Fragen des Stock-Flow Tasks (vgl. Kapitel 4.3.1) richtig beantworten werden weiterführende Fragen nur teilweise korrekt bearbeitet.

Bei Typus 3 variieren die Antworten zum Zwischentest auch unter Vertreter\*innen derselben Studiengruppe, obwohl die Studierenden der Gruppen IDM16 und IDM17 durch den Kurs Modellbildung und Simulation über dieselben methodischen Vorkenntnisse verfügen sollten. Dies zeigt auf, dass methodische Vorkenntnisse in der Systemmodellierung kein alleiniger Indikator für die Leistung im Zwischentest sind.

#### *Modellierung mit Rückkopplungen*

Rückkopplungen sind ein gemeinsames Merkmal in den Modellen aller Vertreter\*innen des Typus 3. Die Ausprägung der Beschriftung von Polaritäten variiert: Knapp die Hälfte der Fälle aus Typus 3 beschreibt explizit die Art der Rückkopplung. Die *Entwicklung der Modellierungskenntnisse* befindet sich damit mindestens auf der Ausprägung *Stufe 3*.

Alle Modelle von Typus 3 umfassen mindestens zwei Perspektiven. Diese sind im Gegensatz zu Typus 2 ohne spezifische Ausprägung einer Hauptperspektive im Modell eingebracht. Die mehrperspektivische Fragestellung wird somit unter Berücksichtigung mehrerer Perspektiven beantwortet. Diese Ausprägung teilt Typus 3 mit Typus 1 und unterscheidet ihn von Typus 2.

#### *Fachliche Vorkenntnisse sind unterschiedlich ausgeprägt*

Die fachliche Vorprägung ist bei Typus 3 unterschiedlich. Sie erscheint im Gegensatz zu Typus 2 für die Arbeit am Modell nicht prägend, da die Modellierung gemäß der Aufgabenstellung erfolgt. Die Modelle des Typus 3 sind trotzdem ähnlich komplex und methodisch korrekt entwickelt wie bei den Typen 1 und 2.

Die Selbstwahrnehmung fachlichen Vorwissens ist bei Vertreter\*innen von Typus 3 unterschiedlich. So äußert MSE16-H808 fehlende Vorkenntnisse im Bereich der Biogasanlagen verglichen mit anderen Energieerzeugungsformen.

*MSE16-H808: Und ähm natürlich ists auch so, dass ich überhaupt nichts über Biogasanlagen vorher so richtig wusste, also Bioanlagen. Deswegen ist das erst mal so ein Learning was man jetzt hat [...] ich weiß über Photovoltaik wesentlich mehr wie darüber oder über Windkraft, über Atomkraft, Kohle mh ich wusst ehrlich gesagt nicht mal, dass wir so viel / dass es so viele Biogasanlagen in Deutschland gibt. Hätte ich eher weniger eingeschätzt. [...].  
(MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 66-68).*

Demgegenüber verfügt MSE16-W122 über Vorkenntnisse zu erneuerbaren Energien aus dem privaten Umfeld:

*MSE16-W122: Wobei soweit ich das weiß, die Leute, die gerade Abfallstoffe in Biogasanlagen fahren, ãh massive Probleme haben mit der Biologie. [gemeint ist der Prozess der Vergahrung bei verschiedenen Einsatzstoffen] (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 77)*

MSE16-W122 äußert zudem Interesse an „ganzheitliche[m] Denken, Modellierung über Maschinenbau hinaus“ (Kompetenzen Studium, MSE16-W122). So bewertet MSE16-W122 in der Modellierung die Anlagen bezüglich ihrer Effizienz und zeigt Verbesserungspotentiale auf, wobei auf Vorkenntnisse in Energieversorgung und Energieeffizienz Bezug genommen wird:<sup>130</sup>

*MSE16-W122: Womit wir wieder bei der Entwicklung wären. Weil wir [...] entwickeln ja nicht nur an der / in der Fermentation liegt, sondern auch es durchaus sinnig wäre, die Entwicklung hinten rauszuziehen bei der Gasreinigung und Gaseinspeisung, was ja auch noch ein sehr kosteneffizienter Faktor ist. Beziehungsweise bei der Energiewandlung.[...] weil Kraft-Wärme-Kopplung über / so wie ich das jetzt weiß über Verbrennungsmotoren ist auch nicht der Weisheit letzter Schluss. Da geht immer noch ein Drittel in (unv.) raus. Und Bewegungsenergie. Ohne dass da hinten überhaupt mal Strom rauskommt. #00:47:43# (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 79-83)*

Gemeinsam ist den Fällen von Typus 3 die Berücksichtigung und Vernetzung verschiedener Perspektiven. Hier finden sich, insbesondere im Gegensatz zu Typus 2, verschiedene thematische Schwerpunkte:

*Mehrere Perspektiven werden in der Modellierung vernetzt*

Typus 3 berücksichtigt zwei oder mehr Perspektiven im Modell. Hierzu werden aus mehreren Texten Zusammenhänge extrahiert und vernetzt, wobei bei Bedarf auch Informationen aus Allgemein- oder Fachwissen integriert werden.

Das Zusammenspiel zwischen Modellgrößen und dahinterstehenden Perspektiven wird im Gegensatz zu Typus 2 auch in Modellen mit wirtschaftlich-technischem Schwerpunkt als wichtiger Einflussfaktoren erkannt und in der Modellvorstellung beschrieben (vgl. Tabelle 13-1 oben).

Die Wahl der Perspektiven wird teils explizit eingeordnet. So vertritt IDM17-H680 ein Modell mit den Perspektiven *Technologie* und *Umwelt*, das sich von Beginn an auf diese beiden Perspektiven beschränkt (vgl. Tabelle 13-1 unten).

---

<sup>130</sup> MSE16-W122 ist nicht Typus 1 zugeordnet, da Unsicherheiten in der Modellierung benannt wurden.



**Tabelle 13-1: Auszug aus der Modellvorstellung von IDM16-A282 (oben) und IDM17-H680 (unten).**

	<p><i>IDM16-A282: [...] Also es ist halt ein Zusammenspiel zwischen den zwei Größen eigentlich, die das Ganze steuern. Also die Vergütungen vom Staat und den Biogasertrag. Die die Stromgestehungskosten am stärksten beeinflussen.[...]. (IDM16_Gruppe2_Fokus2, Pos. 28)</i></p>
	<p><i>IDM17-H680: Also ich hab wie gesagt Technik und Umwelt. Technik doch irgendwie Entwicklung von Biogasanlagen und Umwelt halt durch das dass ich die Biogasanlagen (unv.) verbessert wird. Aber die anderen drei / anderen zwei hab ich gar nicht. Also. IDM17-S960: Ja also // IDM17-H680: //Von Anfang an auch nicht. Genau, so IDM17-S960: Du wolltest es ja auch nicht. IDM17-H680: Genau. #00:29.55# (IDM17_Gp3_teill, Pos. 61-65)</i></p>

Anders als bei Typus 2 finden sich bei Typus 3 auch Modelle, die gesellschaftliche oder umweltbezogene Aspekte betrachten und somit kaum in Bezug zum eigenen Studienschwerpunkt stehen.

In dieser Merkmalsausprägung ähneln diese Vertreter\*innen von Typus 3 denen des Typus 5, bei dem sich ebenfalls häufig ein Bezug zu Gesellschaft oder Umwelt findet. Anders als die Novizen der Systemmodellierung (Typus 5) sind die geleitet mehrperspektivisch Lernenden jedoch in der Lage, die mit der mehrperspektivischen Frage erzeugte Komplexität über ein Wirkungsdiagramm abzubilden. Im Gegensatz zu den themenzentriert Methodenlernenden des Typus 4 (vgl. Kapitel 13.2) wird die Anzahl der berücksichtigten Perspektiven aus der Fragestellung in der Modellierung nicht verringert.

Zur Übersicht sind in Tabelle 13-2 die Leitfragen der Vertreter\*innen von Typus 3 mit ihrer thematischen Ausrichtung dargestellt. Damit wird die inhaltliche Vielfalt und unterschiedliche Vernetzung der gewählten Leitfragen veranschaulicht.

**Tabelle 13-2: Leitfragen der Teilnehmenden aus Typus 3 und ihre thematische Einordnung.**

Fall	Leitfrage	Gesellschaft	Umwelt	Technik	Wirtschaft
MSE16-W123	Wie können Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit von Biogasanlagen in Einklang gebracht werden?	x	x	x	
IDM17-H959	In wie weit ist es unter Aspekten der Nachhaltigkeit vertretbar Nachwachsende Rohstoffe (Lebensmittel) zur Energieerzeugung zu nutzen? Im Hinblick auf Lebensmittelknappheit (Transporte durch Lebensmittel Import) und Agrarflächennutzung (Platzknappheit, Rodung)	x	x		
IDM17-M985	Inwiefern kann der Betrieb von Biogasanlagen mit Energiepflanzen nachhaltig gestaltet werden ohne dass menschliche Bedürfnisse gefährdet werden?	x		x	
IP17-E369	Wie können sogenannte "virtuelle Kraftwerke" (regenerativ) die konventionellen Großkraftwerke ergänzen?	x		x	x
IDM16-A282	Welche Auswirkung hat die Nutzung von Abfallstoffen auf die Stromgestehungskosten einer Biogasanlage?		x	x	x
MSE16-H808	Wie kann unter technologischen Gesichtspunkten der Ausbau von Biogasanlagen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und umweltschonender Randbedingungen gesteigert werden?		x	x	x
IDM16-M042	Kann Biomethan-Kraftstoff im Verkehrssektor anhand Erzeugungskosten und Nachfrage ausgebaut werden?		x	x	x
IP17-E373	Wie kann man die entstehende Wärme bei Biogasanlagen besser nutzen?		x	x	x
IDM17-B395	Wie können Biogasanlagen & deren Substrate unter wirtschaftlichen Aspekten eingesetzt & gefördert werden?		x		x
IP17-T379	Wie lässt sich eine effizientere Nutzung bereits vorhandener Strukturen im Bereich der Biogasanlagen realisieren?		x	x	
IDM17-H680	Wie können Biogasanlagen effizienter genutzt werden, um Ressourcen sparen zu können und unter Berücksichtigung technischer und umweltbezogener Aspekte?		x	x	
IDM17-G784	Welche technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen müssen erfüllt sein, dass Biogasanlagen weiterhin zur Energieversorgung beitragen?			x	x
IP17-A377	Wie muss sich die Energieverteilung von Biogasanlagen ändern? In Bezug auf Strom, Wärme und Gasproduktion.			x	x
MSE16-W122	Wie kann eine Biogasanlage mit größtmöglicher Effizienz am Netz bei hoher wirtschaftlicher Ausnutzung betrieben werden?			x	x

Hier werden ethische Zusammenhänge erfasst, die bei den meisten anderen Typen nicht oder selten vorhanden sind. Bei Typus 5 werden ethische Fragestellungen zwar teilweise ebenfalls berücksichtigt, aber nicht in Form eines Wirkungsdiagramms abgebildet.

*Typus 3 wählt geeignete Aggregationsebenen zur Modellierung und integriert weitere Informationsquellen nach Bedarf*

Das Gelingen der Modellierung auch bei geringem nachweisbarem Einfluss von Vorkenntnissen ist auch über die Aggregationsebene zu erklären: Die Wahl einer geeigneten Aggregationsebene im Modell erleichtert das Beschreiben von Zusammenhängen zwischen Modellgrößen.

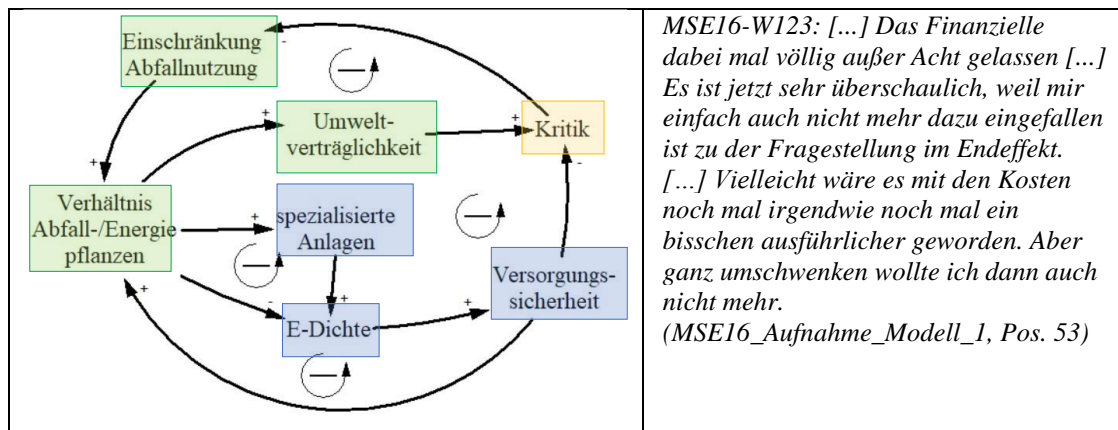
Während bei Modellen mit wirtschaftlichem oder technischem Schwerpunkt Zusammenhänge meist direkt aus dem Text erschlossen werden, und Modellgrößen direkt aus Begriffen des Textes abgeleitet werden können, wird bei Modellen mit sozialem bzw. ökologischen Schwerpunkten das Modell eher anhand selbst gewählter Oberbegriffe entworfen. Hierzu wird auf Hintergrundwissen zugegriffen, woraus sich eine aggregierte Darstellung ergibt. Da für die Vertreter\*innen des Typus 3 keine besondere fachliche Vertiefung im Bereich Umwelt bzw. Gesellschaft bekannt ist, ist eingebrachtes Wissen in der Regel dem Allgemeinwissen zuzuordnen (vgl. Kapitel 8.3.4). Die Wahl aggregierter Größen im Umfeld gesellschaftlicher und umweltbezogener Fragestellungen kann auch darüber erklärt werden, dass aus diesen Betrachtungswinkeln häufiger auf *Soft Variables* (vgl. Hayward et al. 2014) zugegriffen wird. Beispielsweise führt IDM17-H959 *Ethik* als Oberbegriff ein, um die ethisch-gesellschaftlichen Implikationen der Nutzung knapper Ressourcen der Deckung des Energiebedarfs entgegenzustellen. Eine dichte Vernetzung, die in diesem Modell unter Angabe von Polaritäten dargestellt ist, zeigt, dass die Person Überlegungen zu entsprechenden Wechselwirkungen angestellt hat (vgl. Tabelle 8-26 links). Durch die Arbeit mit aggregierten Größen ergibt sich wiederum ein Modell, das nicht spezifisch für den Anwendungskontext Biogasanlagen ist, sondern allgemein auf die Energieversorgung bzw. zugrundeliegende Ressourcennutzung angewendet werden könnte. Hiermit ist eine Modellierung auf Makroebene umgesetzt (vgl. Kapitel 5.3). Im Gegensatz zu Typus 5 erreicht Typus 3 die Modellierung mit einer konsistenten Aggregationsebene der Modellgrößen.

#### *Diskussion über Perspektiven*

Mehrere geleitet mehrperspektivisch Lernende setzen sich während der Modellvorstellung aktiv mit Perspektiven und Umfang des Modells auseinander.

Das Modell von MSE16-W123 kombiniert technische und umweltbezogene Aspekte und Kritik als gesellschaftliche Einflussgröße, jedoch keine wirtschaftlichen Modellgrößen. Die Unsicherheit, die MSE16-W123 in der Modellvorstellung äußert, lässt sich im Kontext der Teilnehmergruppe erklären: alle drei anderen Teilnehmenden hatten zuvor ein Modell vorgestellt, das weniger aggregiert war und wirtschaftliche Größen berücksichtigte.

**Tabelle 13-3: Auszug der Modelldarstellung von MSE16-W123.**



Bei anderen Teilnehmenden, die weniger Aussagen zum eigenen Modell treffen, ist eine Mitarbeit bei der Einordnung der Perspektiven und Modellgrenzen anderer Teilnehmender zu erkennen:

*IP17-A377: Also ganz weg würde ich die Gesellschaft und Politik bei dir nicht nehmen.*

*(Transkript\_IP17\_Gruppe2, Pos. 29)*

*IDM16-M042: Das heißt hier, deine Systemgrenze verläuft hier quasi/ das ist außerhalb deiner Systemgrenze? #00:13:33# (IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 80)*

Das Gespräch zeigt hier eine Reflexion über Perspektiven, die sich vom „wirtschaftlich-rationalen Menschenbild“, wie es bei Typus 2 zu erkennen ist, entfernen. MSE16-H808 etwa sieht umweltbezogene Aspekte „im eigenen Interesse“ (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 73) als relevant an.

IDM17-H959 erkennt im Austausch mit IDM17-L956 (Typus 4) die stets präsente Rolle gesellschaftlicher Anliegen:

*IDM17-H959: Aber ich glaub das ist einfach weil du zwar technisch was machen kannst, aber du kannst halt nicht die Gesellschaft vernach// also [...] Geht halt nicht. [...] (IDM17 Gp1 fenster, Pos. 81-83)*

Die thematische Vernetzung des eigenen Modells mit den Inhalten anderer Modelle fördert bei den Vertreter\*innen von Typus 3 den mehrperspektivischen Zugang zum modellierten System. Dies ist auch bei IDM16-A282 zu beobachten: Diese Person erkennt während der Modellvorstellung thematische Überschneidungen mit dem eigenen Modell und hebt diese hervor:

*IDM16-A282: Ich hab was / eigentlich ein anderes Thema. Aber bei mir kommen die zwei Stoffe auch ins Spiel// (IDM16\_Gruppe2\_Fokus, Pos. 21)*

Weiterhin dienen bei Typus 3 Fragen als Interaktionsform dazu, inhaltliche Verständnisfragen zu klären. So erklären Vertreter\*innen von Typus 3 anderen Teilnehmer\*innen Fachbegriffe und greifen dabei auf erworbenes Fachwissen zu:

*IP17-E373: Was heißt das?*

*IP17-E369: Volatile Stromversorgung. Das heißt wenn du Solaranlagen, die funktionieren ja auch nur wenn die Sonne scheint. [...] (Transkript\_IP17\_Gruppe1, Pos. 18-19)*

Insgesamt zeigt sich in der Interaktion mit Vertretern des Typus 3 ein vielschichtiger Lernprozess, der abbildet, dass auch bei geringen thematischen Vorkenntnissen im Bereich erneuerbarer Energien Zusammenhänge dargestellt, erarbeitet und Wirkungsdiagramme verglichen werden können, wenn die Gesprächspartner einer mehrperspektivischen Systembetrachtung offen gegenüberstehen.

*In der Interaktion werden Modellierungskennntnisse vertieft*

Auch die methodische Ebene wird im Gespräch weiterentwickelt: Während die Ausprägungen im Pretest unterschiedlich sind, ist den Vertretern von Typus 3 gemeinsam, dass sie Rückkopplungen in ihrem Modell berücksichtigen. Die Beschreibung von Relationen erfolgt in der Modellvorstellung mit *je-desto*-Aussagen als Wortmodell.<sup>131</sup> Zu den Themen, die im Gespräch aufgegriffen werden, gehört die methodische Korrektur anderer Modelle: So ergänzt IDM16-A282 bei einem Modell von IDM16-G846 (Typus 4):

*IDM16-A282: [...] Eigentlich hättest du jetzt hier noch hier nen Pluspfeil machen müssen. Und hier nen Minuspfeil. (IDM16\_Gruppe2\_Fokus, Pos. 17)*

Andererseits beantwortet diese Person eine Rückfrage zu den Relationen im eigenen Modell und erklärt hierbei die zugrundeliegende Relation.

*IDM16-H028: Muss da nicht Minus sein?#00.05:15#*

*IDM16-A282: Ich hab ja hier. Also wenn ich äh mehr von den nachwachsenden Rohstoffen nutze, also wenn die steigt, sinkt die Nutzung. Und wenn diese Nutzung steigt, dann sinkt diese Nutzung. Und das ist aber.*

*IDM16-H028: Ah ja, okay. (IDM16\_Gruppe2\_Fokus2, Pos. 32-34)*

Es werden auch Fragen gestellt, die methodische und inhaltliche Aspekte vernetzen. So hinterfragt MSE16-W122 im Modell von MSE16-E744 (Typus 4) die zeitliche Entwicklung und nimmt dabei Bezug auf verschiedene physikalische Größen:

*MSE16-W122: Äh also ja du kriegst einerseits da Energie raus. Ne gewisse Leistung raus, wie du sagst, die möchte ich ja daraus haben. Die Leistung begrenzt doch deine Kraft-Wärme-Kopplung?#00:25:30#*

*MSE16-E744: Ja*

*MSE16-W122: Ja, aber die Energie über die Zeitspanne, die ist jetzt nicht allein von der Kraft-Wärme-Kopplung begrenzt, sondern von deiner äh Biogasmenge und -qualität. Und die Biogasmenge und -qualität das steckt ja in deinem Gasspeicher. Beziehungsweise die Menge an Strom, die du da rausziehen kannst, liegt ja noch in deinem Stromspeicher mit dahinter.*

*#00:25:56# (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 25-27)*

Hier bestätigt sich ein ausgeprägtes Mitdenken in die Zusammenhänge der Modelle anderer Teilnehmender.

Prägnant zusammengefasst wird das Zusammenspiel von inhaltlichen Themen und die sich daraus entwickelnde Dynamik durch MSE16-H808:

*MSE16-H808: Also ich glaube das hängt / Also man sieht schon, dass das alles immer fest zusammenhängt und man sich das nicht aussuchen kann. wenn das eine sozusagen sinkt, dann passiert alles was dran hängt mit. [...] (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 57)*

---

<sup>131</sup> Auf die Gesamtwirkung von Rückkopplungskreisen wird, anders als bei Typus 2, seltener Bezug genommen.

*Weitere Elemente der Systemmodellierung sind im Einzelfall thematisiert*

Von Typus 3 werden teilweise weitere Aspekte der Systemmodellierung thematisiert (die bei den Typen 1 und 2 stärker ausgeprägt sind). So denkt IDM16-M042 über den zeitlichen Horizont des eigenen Modells nach:

*IDM16-M042: [...] Wobei ich, wie ich gerade schon gesagt hab, die Nachfrage eh ja ist eher kurzfristig nicht langfristig angesehen grad zum Thema Elektromobilität, dass hier eher der Fokus drauf liegt, wie jetzt auf Methanisierung von Kraftfahrzeugen. Man hat auch hier / es sind momentan zirka Hunderttausend Erdgasfahrzeuge auf dem Markt, und es handelt sich um nen Nischenmarkt und ich denk nicht, dass das langfristig auf einen relativ großen Markt (sich ausbauen?) wird. #00:07:06# (IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 39)*

Externe Größen und zugrundeliegende Annahmen zum System werden von MSE16-W122 explizit benannt:

*MSE16-W122: Externe Größe ist einmal hier oben, die netzabhängige Regelung. Wobei ich da sag die netzabhängige Regelung greift auf meine Kraft-Wärme-Kopplung ein, steuert die in der Leistung (...) steuert dadurch auch meine Stromspeisung und die / den Stromspeicher (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 20)*

IDM16-M042 erkennt in einem Modell von IDM16-W041 (Typus 2) den starken Einfluss externer Größen:

*IDM16-M042: (...) Also ich würd halt festhalten, dass halt ähm vor allem des Verhalten ist dann stark von externen Faktoren abhängig ist. Steht hier auch drin, du hast Ölpreis und so weiter(...)#00:17:18# (IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 110)*

Dies deutet darauf hin an, dass bei Typus 3 das Grundverständnis für die Modellierung im Gegensatz zu Typus 2 weniger an die Perspektive des Studienhintergrunds geknüpft ist als bei Typus 2.

Auch IDM17-B395 hinterfragt aktiv die Systemannahmen eines anderen Modells:

*IDM17-B395: Wobei das ist ja auch nur ne Annahme . Ähm ist, dass die bestehenden Energieversorgungsmethoden, die es bisher gibt, bestehen bleiben, und nicht abgeschafft werden. IDM17-M985: Die Entwicklung?*

*IDM17-B395: Ja, also wenn ich jetzt ne neue Biogasanlage bau, dann müssen die anderen weiter existieren, weiterlaufen  
IDM17-M985: Ja. Genau (IDM17\_Gp2\_tuer, Pos. 4)*

Auch mit Herausforderungen beschäftigen sich einige Vertreter\*innen des Typus 3:

*Typus 3 thematisiert teilweise Herausforderungen*

Die Hälfte der Vertreter\*innen des Typus 3 nennt keine expliziten Herausforderungen während der Modellvorstellung. Anders als bei Typus 5 sind in diesem Fall aus Sicht der Forscherin auch keine ausgeprägten methodischen oder inhaltlichen Probleme vorhanden, sondern es gelingt den geleitet mehrperspektivisch Lernenden, modellierend Antworten zu ihre eigenen Leitfragen zu entwickeln.

Zu den benannten Herausforderungen gehört der unvollendete Modellierungsprozess. So fasst IDM17-H959 für das eigene Modell zusammen:

*IDM17-H959: Und ja ich hab auch nicht so wirklich jetzt irgendwelche starken Zusammenhänge rausgefunden. (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 13)*

Andererseits bringt sich IDM17-H959 trotz der geäußerten Unsicherheit während der Modellierung aktiv ein. Einerseits wird methodisch nachgefragt.

*IDM17-H959: //Ist das richtig? Stromerzeugungskosten, wenn die hoch sind. Ah ja, ja. [...] (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 2)*

Auch inhaltliche Aspekte werden hinterfragt:

*IDM17-H959: //Was sagt Umweltbilanz aus? (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 20)*

So ergibt sich insgesamt der Eindruck eines aktiv beteiligten und reflektierenden Teilnehmers.

In ähnlicher Weise hadert MSE16-H808 zunächst mit dem eigenen Modell:

*MSE16-H808: [...] Ja mir sind selbst noch so ein paar Sachen aufgefallen, die gar nicht so sein können. Aber irgendwie hab ich mich an was festgebissen gehabt, deswegen äh bin ich da nicht ganz durchgekommen. #00:27:26 (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 38)*

Die Aussage bildet im Gespräch den Ausgangspunkt zur Diskussion über das Modellierungsergebnis. Hierbei wird erkannt, dass die Modellierung ein zyklischer Prozess ist. MSE16-H808 fasst dies positiv zusammen:

*MSE16-H808: Ähm ich find das interessant, dass man auch Fehler / also dass man auch Zusammenhänge sieht, wo man dann [...] merkt: okay, da muss man anders rangehen. Oder das anders noch mal ummodelliert um das hinzubekommen. (MSE16-Feedback, Pos. 6)*

Die Modellierung als Prozess wird bei Vertreter\*innen des Typus 3 somit auch über Interaktion mit anderen Teilnehmer\*innen gefördert.

### *Zusammenfassung Typus 3*

Die Vertreter\*innen von Typus 3 sind in der Lage, methodisch korrekte Wirkungsdiagramme zu erstellen. Dabei orientieren sie sich an der Aufgabenstellung, ohne erkennbar auf fachliche oder methodische Vorkenntnisse zurückzugreifen. Die Arbeit mit dem Textmaterial und die geeignete Wahl einer passenden Aggregationsebene bilden die Grundlage für ein Modell, das, der eigenen Leitfrage entsprechend, mindestens zwei Perspektiven vernetzt. Durch die Interaktion mit anderen entwickeln sie ihr methodisches Verständnis weiter und entdecken neue Zusammenhänge zwischen Perspektiven. Die Aufgeschlossenheit gegenüber verschiedenen Perspektiven fördert die strukturierte Beschäftigung mit einem komplexen Thema auch ohne spezifische Vorkenntnisse.

### 13.2 Typus 4: Der themenzentriert Methodenlernende

Gemeinsames Merkmal der Vertreter\*innen von Typus 4 ist die Erstellung von Wirkungsketten während der Modellbildung. Diese Darstellungsform, die als Zwischenstufe zu verstehen ist, wird im Posttest durch den korrekten Einsatz eines Wirkungsdiagramms mit Rückkopplungen weiterentwickelt. Anders als Typus 3 verwendet Typus 4 in der Intervention noch keine Rückkopplungen im Modell, sondern setzt diese erst im Posttest ein.

#### *Modellfall Typus 4: Themenzentriert Methodenlernende*

Das Interesse an einer kommunikativen Tätigkeit prägt Studienwahl und Berufsziel des themenzentriert Methodenlernenden. In der Schule lag die Neigung neben Mathematik auch in gesellschaftswissenschaftlichen Bereich. Obwohl keine vertieften Vorkenntnisse in der Systemmodellierung vorliegen, bringt der themenzentriert Methodenlernende eine strukturierte, methodenorientierte Arbeitsweise mit, die bei der Systemmodellierung förderlich ist: In der Intervention wird die Aufgabenstellung schrittweise bearbeitet und das Modell ausgehend von Textinformationen erstellt. Die einzelnen Schritte der Modellierung, die zunächst auf eine reduzierte Anzahl von Perspektiven beschränkt bleiben, sind hierbei dokumentiert. Das Modell der Intervention umfasst lineare Relationen in Form von Wirkungsketten. In der vereinfachten Modellsituation des Posttests werden jedoch Rückkopplungen dargestellt.

Im Gespräch mit anderen Kursteilnehmenden zeigt sich beim themenzentriert Methodenlernenden, dass der vorgestellte Modellierungsstand als Zwischenergebnis aufzufassen ist. Der themenzentriert Methodenlernende ist gegenüber weiteren Perspektiven offen und reflektiert Herausforderungen in der Modellierung.

#### *Typus 4 zeigt unterschiedliche soziodemografische Merkmale*

Die soziodemographischen Daten der Vertreter\*innen von Typus 4 zeigen eher heterogene Ausprägungen: Der Typus umfasst Personen aus den Gruppen IDM16 und IDM17, sowie aus IP17.

Mehrere Teilnehmende der Ingenieurpädagogik nennen Mathematik als Lieblingsfach in der Schule: „Es ging um logisches Denken und verschiedene ‚Systematiken‘ anzuwenden. Mir macht es Spaß an einer Aufgabe so lange zu rätseln, bis ich auf die Lösung komme“ (Erklärung leichtes Lernen, IDM17-S960).

In ähnlicher Form nennt IDM17-L956 Mathematik als bestes Schulfach: „Ich habe Zusammenhänge immer schnell verstanden und hatte Spaß an weiterführenden Aufgaben“ (Erklärung leichtes Lernen, IDM17-L956).



Auch andere MINT-Fächer werden als bevorzugte Fächer aufgeführt. Bei IDM16-G846 und IP17-S376 wiederum sind geisteswissenschaftliche Fächer als schulische Lieblingsfächer benannt. Unter den Lieblingsstudienfächern benennen alle Vertreter\*innen des Typus mindestens ein technisches Fach. Gemeinsam ist den Fällen aus Typus 4 auch der Bezug zu einer kommunikativen Tätigkeit im Berufsbild: Die persönlichen Qualifikationsziele und Visionen für den Traumberuf liegen bei den vier Personen, die sich hierzu äußern, im Bereich kommunikativer Tätigkeiten (vgl. Tabelle 13-4).

**Tabelle 13-4: Berufliche Vorstellungen von Vertreter\*innen aus Typus 4.**

<b>Pseudonym</b>	<b>Faszination Berufsvision (Zitat)</b>	<b>Traumberuf</b>
IDM17-L956	„Kontakt zu vielen Menschen, Erlangen/Nutzen erlangter Menschenkenntnisse; Häufig Rückspiegel des Erfolgs/Misserfolgs => stetige Verbesserung möglich“	Internationaler technischer Vertrieb
IDM17-S959	„Als Führungskraft möchte ich gerne Verantwortung übernehmen und selbst Entscheidungsfreiheiten haben, um mich auch ein Stück weit selbst zu verwirklichen“	Nach Beendigung möchte ich in der Automobilindustrie tätig sein. Dort möchte ich zeitnah eine Führungsposition übernehmen
IDM17-S960	„Vertrieb: Kommunikation extern mit Kunden und intern mit anderen Abteilungen „Management“ von verschiedenen Personengruppen“	Mitarbeiter im technischen Vertrieb in einem Großkonzern
IP17-S376	„Die Arbeit mit Kindern und Jugendlichen“	Lehrer an beruflichen Schulen

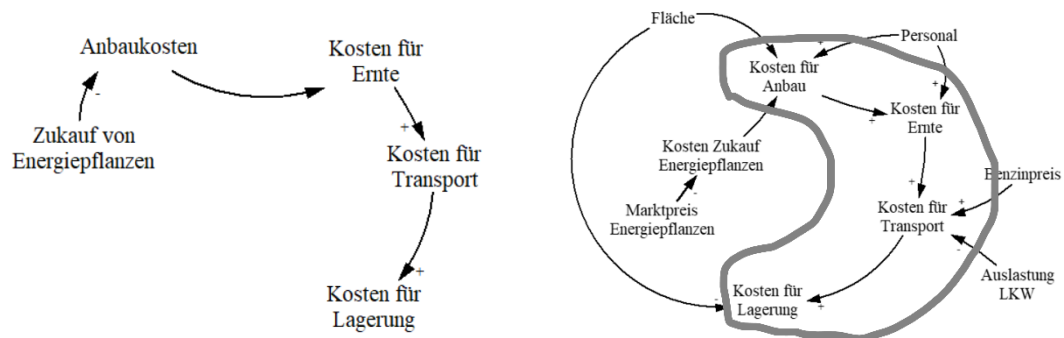
Zu den Kompetenzen, die sie zum Erreichen ihres beruflichen Ziels als wichtig einstufen, zählen für Vertreter\*innen von Typus 4 kommunikative Fähigkeiten sowie der „Umgang mit Menschen“ als zukünftige Führungskräfte (Reflexion Interesse, IDM17-S959 und Kompetenzen Studium, IDM17-S960). Für IP17-S376 ist wichtig, im Lehrberuf „[d]en Schülern später den Stoff verständlich beibringen zu können“ (Kompetenzen Studium, IP17-S376). Studierende des Industrial Management nennen neben Führungs- und Managementkompetenzen auch BWL und technische Kompetenzen, sowie Abstraktionskompetenz (Kompetenzen Studium, IDM16-G846 und IDM17-L956) als Qualifikationsziele.

#### *Methodenorientiert und schrittweise Modellierung*

Wie eingangs benannt, ist die interne Homogenität des Typus 4 über eine ähnliche Ausprägung der Modelldarstellung begründet: Zusammenhänge werden über Wirkungsketten ohne Rückkopplungen dargestellt.

Bei mehreren Vertreter\*innen des Typus 4 ist ein mehrschrittiger Arbeitsprozess dokumentiert, der sich methodisch an der Aufgabenstellung orientiert.

Abbildung 13-1 zeigt den mehrphasigen Modellierungsprozess vom Wortmodell zur Wirkungskette: Links ist eine erste Wirkungskette identifiziert, die aus einer Auflistung von Elementen entwickelt wurde..



**Abbildung 13-1: Modellierungsprozess von IDM17-S959. Hervorhebung wie im Original.**

Daraufhin erweitert IDM17-S959 im Modell die Stränge Selbstbebauung und Zukauf (Abbildung 13-1 rechts). Den Modellierungsprozess beschreibt IDM17-S959 wie folgt:

*IDM17-S959: [...] Da hab ich mir erst mal ursprünglich rausgeschrieben ähm welche Kostenpunkte die Selbstbebauung oder die Stromgestehungskosten überhaupt beeinflussen. Das wär einmal der Zukauf von den Energiepflanzen, die Kosten für den Anbau, die Kosten für die Ernte, Kosten für den Transport und die Kosten für die Lagerung. [...]“ (Fokusgruppen\IDM17\_Gp2\_tuer: 13)*

Auch IDM17-S960 und IDM17-L956 beschreiben explizit den Übergang von Listen zu Verknüpfungen bei Modellen. IDM17-L956 stellt die Modellgrößen als „Punkte“ vor und beschreibt lineare Verknüpfungen:

*IDM17-L956: Und habe dann einige (...) ähm ja Punkte dazu rausgearbeitet, die da Einfluss drauf nehmen könnten. [...] Da sind unter anderem hier zum Beispiel Förderungsgelder, die dann natürlich sich darauf auswirken, dass sich der Marktpreis wahrscheinlich erhöht, weil das ja irgendwie refinanziert werden muss. Dann .. ähm der Gewinn, wird dadurch beeinflusst von der Biogasanlage (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 1)*

Ähnlich ist Beschreibung bei IDM17-S960:

*IDM17-S960: [...] In welchem Zusammenhang stehen erneuerbare Energien wie Biogasanlagen zur Entstehung von Kohlenstoffdioxid. Das ist so der Zusammenhang.#00:01:22# Und hab dann folgendes Wirkungsdiagramm gezeichnet. Also hier ist ja / ich kann ja die (Sachen?) Bevölkerung, fossile Energieträger, CO<sub>2</sub>-Entstehung, erneuerbare Energien, Biogasanlagen, Umweltbewusstsein und Bäume Schrägstich Wälder, das waren so meine Punkte. Und die hab ich dann verknüpft zusammen. [...] (Fokusgruppen\IDM17\_Gp3\_teil1: 4)*

Dass das eigene Modell keine Rückkopplungen umfasst, wird von den Vertreter\*innen des Typus 4 teilweise erkannt: IDM17-L956 erkennt, dass eine Wirkungskette vorliegt. Gleichzeitig werden externe, feste Größen benannt und auf Grenzen des Modells hingewiesen:

*IDM17-L956: [...] sind halt alles so Wirkungsketten, die aber auch hauptsächlich immer dann an sich dann von externen Faktoren abhängen, zum Beispiel kann ich da irgendwie nach Substraten suchen, die nen höheren Energiegehalt haben, aber das wird halt dann durch das Modell nicht mehr abgedeckt #00:02:18 [...] (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 3)*

Die zugrundeliegenden Relationen sind als Wortmodell beschrieben.

*IDM17-L956: [...] Wenn ich negative Regelenergie habe und dann ne höhere Vergütung dafür bekomme, dann hab ich auch einen höheren Gewinn. Dann geh ich hin und sage, wenn ich ne höhere Bedarfskonstanz habe, dann sinken meine Stromgestehungskosten, genauso wenn mein Substrat einen hohen Energiegehalt hat. Niedrige Stromgestehungskosten sorgen wieder für einen höheren Gewinn. [...] (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 1-4)*

Eine neutrale Formulierung verwendet IDM16-G846, der von Wirkmechanismen spricht.

*G846: Ja. Also ich hab hier jetzt die zwei unterschiedlichen Wirk//[...] IDM16-G846 //also Wirkmechanismen. // (IDM16\_Gruppe2\_Fokus, Pos. 7-9)*

Die Relationen werden inhaltlich und strukturell mit Bezug auf die Polaritäten der Relationspfeile dargestellt. Hierbei weist IDM16-G846 den Polaritäten teilweise eine inhaltliche Bedeutung zu, die aus methodischer Sicht vermieden werden sollte (vgl. Kapitel 3.2).

*IDM16-G846: [...] wenn ich halt mehr Bioabfälle hab [...] dann wirkt sich das positiv auf meine Anlagenwirtschaftlichkeit aus. Wenn ich aber ähm. mehr nachwachsende Rohstoffe verbrenn// IDM16-H028: //Dann ists teuer // IDM16-G846: Dann ists teurer und dann ists wieder schlecht für meine Anlagen. // IDM16-H028: //okay.. okay. okay #00:04:35# (IDM16\_Gruppe2\_Fokus, Pos. 11-16)*

IDM17-S960 spricht bei der eigenen Modellierung von einem „Wirkungsdiagramm“, obwohl das Modell keine Rückkopplungen enthält.

Eine fehlerhafte Bezeichnung der Modellstruktur findet sich bei IDM17-S959: Hier wird von „Kreisen“ beziehungsweise einem „Kreislauf“ im Modell gesprochen, obwohl das Modell nur Wirkungsketten beinhaltet, die keine Rückkopplungen aufweisen.

*IDM17-S959: Dann gibts da zwei Kreise in dem Modell. Einmal den Selbstbauungskreis mehr oder (Fokusgruppen\IDM17\_Gp2\_tuer: 13)*

Indirekt erkennt IDM17-S959 bei der Erklärung des Modells jedoch auch, dass die Wechselwirkung zwischen verschiedenen Bereitstellungsformen von Energiepflanzen im Modell fehlen.

*IDM17-S959:[...] weniger und den Kreislauf für den ähm Zukauf von Energiepflanzen. [...] Wenn der Marktpreis steigt, dann steigen natürlich auch die Kosten für den Zukauf und dann muss man natürlich jetzt abwägen: Ist das in Selbstbebauung günstiger oder der Zukunft. [...] Fokusgruppen\IDM17\_Gp2\_tuer: 14)*

Würde dieser Zusammenhang in der Abbildung ergänzt, so würden die konkurrierende Situation zwischen den Substraten und daraus resultierende Rückkopplungen die beschriebene Dynamik genauer abbilden.

Mit linearen Wirkungsketten stellen die Vertreter\*innen von Typus 4 lineare Zusammenhänge in methodisch geordnetem Vorgehen in nachvollziehbarer Art dar, berücksichtigen hierbei jedoch noch keine Rückwirkungen.

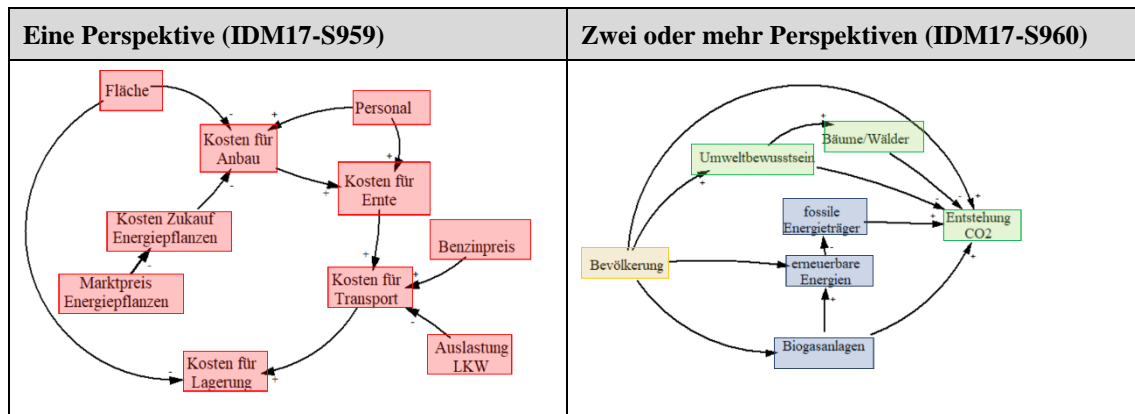
*Zur Reduktion der Komplexität werden weniger Perspektiven berücksichtigt*

In den Modellen berücksichtigen die Vertreter\*innen aus Typus 4 weniger Perspektiven, als in der ursprünglichen Leitfrage benannt sind. Während IDM17-S959 und IDM17-S376 nur eine Perspektive abbilden, bleiben bei IDM17-L956, IDM16-G846, IDM17-S960 mehrere Perspektiven erhalten.

Das Weglassen von Perspektiven in der Modellierung, das Vertreter\*innen von Typus 4 von denen von Typus 3 unterscheidet, ist hier anders als bei Typus 2 jedoch nicht in der Prägung durch den Studienhintergrund zu suchen. Eher kann sie als Reduktion der perspektivischen Komplexität verstanden werden. Der so erhaltene weniger komplexe Themenkontext ermöglicht den Teilnehmenden, methodisch strukturiert vorzugehen, obgleich die Modellierungsmethodik eben erst erlernt wird.

Die in Tabelle 13-5 abgebildeten Modelle zeigen, dass die Teilnehmenden von Textinformationen ausgehen. Wenn im Modell weitere Zusammenhänge erschlossen werden müssen, werden hierzu allgemeine Begriffe genutzt: So bringt IDM17-S960 im technisch-umweltbezogenen Modell Hintergrundwissen zu Kohlenstoffdioxid als Treibhausgas ein (vgl. Tabelle 13-5 rechts).

**Tabelle 13-5: Modelle von Typus 4 mit einer bzw. mehreren Perspektiven**



Dieses Vorgehen ist vergleichbar mit der Abstraktion von Zusammenhängen bei Vertreter\*innen von Typus 3, die Modelle mit gesellschaftlichem bzw. umweltbezogenen Perspektive betrachten und bewirkt, dass plausible Wirkungsketten formuliert werden.

*Im Gespräch erweitert Typus 4 den Blick für weitere Perspektiven*

Die Offenheit des Typus 4 für andere Perspektiven, die im eigenen Modell nicht abgebildet sind, zeigt sich in den Gesprächssituationen: So erkennt IDM17-S956, dass der eigene perspektivische Fokus auf Kosten liegt.

- IDM17-S959: Ich hab eigentlich fast nur Kosten da stehen.*
- IDM17-M985: Ja so Marktpreis von denen ähm Substraten. Oder Energiepreise.*
- (IDM17\_Gp2\_tuer, Pos. 233-234)*

IDM17-S960 vergleicht Abweichungen der Perspektiven zwischen Leitfrage und Modell:

*IDM17-S960: Und Wirtschaft ist auch nicht drin. Das heißt, die Abweichungen sind nur Wirtschaft, weil ich das ja ursprünglich bearbeiten wollte (IDM17\_Gp3\_teil1, Pos. 37)*

Auch bei geringer Anzahl berücksichtigter Perspektiven ist durchaus eine Aufgeschlossenheit gegenüber weiteren Perspektiven vorhanden. Die Entwicklung eines mehrperspektivischen Zugangs zeigt sich in der Besprechungsphase bei IDM17-L956: Diese Person greift die Förderung ökologischer Substrate im Modell von IDM17-W696 (Typus 1) auf und ordnet sie in einen ethisch-ökologischen Kontext ein.

*IDM17-L956: Also das mit der Ethik hattest du ja auch so ein bisschen mit einbezogen.#00:09:26# (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 14)*

*IDM17-L956: //Du hattest das dann auf die Umweltbilanz bezogen, ne?#00:09:36# (Transkript\_IDM17\_Gruppe1, Pos. 37).*

IDM17-L956 erkennt und analysiert zudem, dass Energiebedarf und Versorgungssicherheit gesellschaftlich relevant sind und dass eine Vernetzung zwischen Gesellschaft und Technik besteht:

*IDM17-H959: [...] Deckung von Energiebedarf.*

*IDM17-L956: Ja, das ist ja auch ein Gesellschaftsthema. Keine Gesellschaft kommt ohne Energie aus. (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 49-50)*

*IDM17-L956: Versorgungssicherheit ist auch irgendwie ein gesellschaftliches Ding (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 100)*

Diesen Bezug zu gesellschaftlichen Themenstellungen fasst IDM17-L956 selbst zusammen und schlägt eine sozio-ökologische Betrachtungsform vor:

*IDM17-L956: [...] Also man kann da schlecht eins ausgrenzen. Aber wenn, dann würd ich fast sagen, dass dann die Umwelt und diese ganzen Nachhaltigkeitsaspekte in den gesellschaftlichen Einstellungen mit inbegriffen sind.#00:21:27# (IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 97)*

Bei IDM17-L956 zeigt sich erst aus dem Interaktionskontext ein Interesse an mehrperspektivischen Systemzusammenhängen, das in der Modelldarstellung mit wirtschaftlich-technischer Prägung allein noch nicht erkennbar ist. Somit lässt sich über die Gesprächssituation ein Prozess der Weiterentwicklung bezüglich einer Mehrperspektivität nachvollziehen.<sup>132</sup>

Ein vergleichender Zugang zwischen Perspektiven zeigt sich bei IDM17-S960: Die eigene Perspektive wird der von IDM17-H680 (Typus 3) gegenübergestellt, der sich thematisch ebenfalls mit dem Ressourcenbedarf von Biogasanlagen beschäftigt.

*IDM17-S960: Aber eigentlich find ich das gut. Du hast zwar die zwei Bereiche genommen, aber ich find es gut, dass du alles einbezogen hast. Nämlich meins war ja wirklich nur auf Umwelt oder fast nur auf Umwelt bezogen und du hast halt alles ein bisschen. (IDM17\_Gp3\_teil1, Pos. 109)*

---

<sup>132</sup> Hierbei ist anzumerken, dass die verbal geäußerte Selbsteinschätzung von IDM17-S960, das eigene Modell sei ein rein umweltbezogenes, die vorhandenen technischen Anteile ausblendet. Dies kann dadurch plausibilisiert werden, dass die technische Perspektive für IDM17-S960 salient sein dürfte, während Inhalte zur umweltbezogenen Perspektive erst im Verlauf der Studie erarbeitet wurden und daher in der vergleichenden Darstellung aktiv beschrieben werden.

Im Gegensatz dazu ist IDM17-S959 stärker in der wirtschaftlichen Perspektive des eigenen Modells verankert (vgl. Tabelle 13-5 links) und versucht den Begriff der Nachhaltigkeit, den IDM17-B395 als Vertreter\*innen von Typus 3 im Modell benennt, in Bezug auf den wirtschaftlichen Kontext einzuordnen.

*IDM17-S959: [...] Gut, aber Nachhaltigkeit kann man schon auch auf die Kosten beziehen, oder? So ein bisschen.*

*IDM17-B395: Nachhaltig verbinde ich jetzt eher mit Umwelt ehrlich gesagt wie mit Kosten#00:24:52#*

*IDM17-S959: Nachhaltig aus Unternehmersicht*

*IDM17-B395: Ja gut, Nachhaltigkeit kann man schon auch so/*

*IDM17-S959: Kann man definieren als würds auf nen finanziellen Aspekt hinauslaufen [...] (IDM17\_Gp2\_tuer, Pos. 167-171)*

Zusammengefasst starten die Vertreter\*innen der themenzentriert Methodenlernenden mit einer unterschiedlichen Anzahl von Perspektiven in die Modellierung und erweitern mehrere Vertreter\*innen ihre Sicht auf Perspektivität, indem sie sich über Modelle mit verschiedenen thematischen Schwerpunkten austauschen. Sie stehen einer öko-sozio-technologischen Metabetrachtung von Systemen mehrheitlich aufgeschlossen gegenüber.

#### *Typus 4 erlernt Methoden strukturiert*

Für Typus 4 ist kein aktives Erkennen methodischer Defizite in eigenen oder fremden Modellen dokumentiert. Anders als bei Typus 5 sind die grundsätzlichen Ansätze der Modellierungsmethodik in Form der Darstellung von Relationen innerhalb von Wirkungsketten in der Intervention bereits vorhanden. Sie spiegeln Grundkenntnisse der Systemmodellierung wider (Schaffernicht und Groesser 2016, S. 59). Diese werden durch den korrekten Einsatz von Wirkungsdiagrammen im Posttest bestätigt. Das Konzeptverständnis für Wirkungsdiagramme scheint sich also im Verlauf der Studie zu entwickeln, wobei Rückkopplungen in der perspektivkomplexen Situation der Leitfrage noch nicht identifiziert werden, in der Situation des Systemmodells im Post-Test jedoch identifiziert werden.

Typus 4 zeigt eine geringere Affinität zu abstrakt-mathematischer Modellierung als die Typen 1 und 2. So äußert IDM16-G846 Herausforderungen mit einem mathematischen Zugang zur Systemmodellierung.

*I: [...] erstmal zu dem Montagskurs Modellbildung Simulation warum haben sie sich für den Kurs entschieden? Daran teilzunehmen?*

*IDM16-G846: Das weiß ich noch nicht so richtig. (lacht) Muss ich ehrlich sagen. Bis jetzt ist es noch sehr abstrakt. Finde ich, also es ist schwer zu greifen das Thema*

*I: Okay.*

*IDM16-G846: Ähm.. was mir momentan noch fehlt, ist das ähm.. wie stelle ich meine Gleichungen selber auf. Wie kann ich sozusagen selber Modelle binden/bilden.*

*I: Mh.*

*IDM16-G846: Was wir momentan machen, ist es eher so die Anwendung. Wir kriegen das und das vorgesetzt,*

*I: Die Analyse halt, ne?*

*IDM16-G846: Genau. Und jetzt machen Sie mal daraus nen Simulink Modell oder..*

*I: Mh (160607\_IDM16\_G846, Pos. 21-28)*

Zu Beginn der Lehrveranstaltung Modellbildung und Simulation fehlt der Person der Zugang zum eigenständige Aufstellen von Modellen (über einen mathematischen Ansatz). Zudem bringt der Teilnehmer keine Vorerfahrung im Umgang mit Simulationssoftware mit und hat im Bachelor entsprechende Fächer nicht belegt:

*I: Inwieweit bringen sie Vorerfahrung in den Kurs mit ein? Also zum Thema Modellbildung?*

*IDM16-G846: Gar nichts.[...]*

*I: Haben sie mit anderen Simulationsprogrammen im Studium gearbeitet?.. Im Bachelor? [..]*

*IDM16-G486: Nein... Gar nichts.*

*I: Okay.*

*IDM16-G486: Also es wurde bei uns teilweise aber im anderen Schwerpunkt.. ähm Schwingungssystem zum Beispiel.*

*I: Okay.*

*IDM16-G486: ((...)) aber da war ich nicht dabei. (160607\_IDM16\_G846, Pos. 29-40)*

Auch wird Erstaunen über die quantitative Vorgehensweise in der Modellierung geäußert. Insgesamt wird der Kurs verglichen mit anderen Lehrveranstaltungen als herausfordernd beschrieben:

*I: Genau. Okay... Sie haben jetzt ja also in der Vorlesung zwei Grundkapitel schon abgeschlossen, ja. Einmal quantitative Modellbildung und einmal qualitative*

*IDM16-G846: Ja*

*I: Inwiefern hat sich denn dadurch ihre Vorstellung von / wie man Systeme betrachtet, wie man Modelle bildet, wie man simuliert, verändert? Verglichen zu dem was sie vielleicht vorher als Vorstellung hatten?*

*IDM16-G846: (Lacht) Äh.. Ich dachte ehrlich gesagt, dass es nicht so ganz komplexes Thema ist. So Richtung mathematisch mit Differentialgleichungen und so. Also ich dachte es ist irgendwie anders, ich weiß es nicht, ich kanns nicht beschreiben. [...].*

*IDM16-G846: Also ich dachte okay, man schaut sich irgendwas an. Aber dass man wirklich so runterbricht auf diese mathematische Gleichungen, des hätte ich nicht gedacht.*

*(160607\_IDM16\_G846, Pos. 44-49)*

Trotz eines weniger ausgeprägten Zugangs zu quantitativer Modellierung zeichnet sich bei Vertretern des Typus 4 aus dem Studiengang Industrial Management im Zwischentest ein Grundverständnis für die kontinuierliche Beschreibung dynamischer Systeme über Integrale bzw. Stock-Flow Darstellungen ab. Es wird dabei ein Bezug zum Vorwissen der quantitativen Modellierung aus vorherigen Kursstunden hergestellt.<sup>133</sup> Das gute Abschneiden im Zwischentest kann bei Typus 4 über den insgesamt strukturierten, an der Aufgabenstellung orientierten Vorgehensweise erklärt werden.

#### *Herausforderungen wird mit Lösungsansätzen begegnet*

Herausforderungen erkennen Vertreter\*innen des Typus 4 auf methodischer und inhaltlicher Ebene. In der Modellvorstellung werden hierbei Lösungen dargestellt. So erkennt IDM17-L956, dass die ursprünglich festen Systemgrenzen im Modell verändert werden könnten:

---

<sup>133</sup> Für den Vertreter\*innen aus IP17 des Typus 4 liegen zum Zwischentest keine Daten vor.

*IDM17-L956: So und wenn man halt sehen, sind halt alles so Wirkungsketten, die aber auch hauptsächlich immer dann an sich dann von externen Faktoren abhängen, zum Beispiel kann ich da irgendwie nach Substraten suchen, die nen höheren Energiegehalt haben, aber das wird halt dann durch das Modell nicht mehr abgedeckt#00:02:18#*

*Also, könnte man ja endlos weiterführen die Forschung und so weiter. Genauso Förderungsgelder, die sind jetzt auch nicht von anderen / oder hab ich jetzt nicht herausgestellt, dass sie von anderen Faktoren innerhalb des Modells beeinflusst sind. Sondern die sind einfach von außen vorgegeben und verändern sich dann halt, ja, anhand politischer Vorgaben oder anhand der Entwicklung, wenn es positive Entwicklung gibt und das dazu führt, dass vielleicht die Anlagen günstiger betrieben werden können, dann immer noch mit normalem Gewinn und wenn der Gewinn dann ausreichend ist, dann senkt man die vielleicht #00:02:38# (Fokusgruppen\IDM17\_Gp1\_fenster: 3 - 3).*

Mit dieser Aussage hinterfragt IDM17-L956 einerseits eigene Modellgrenzen und erkennt andererseits die Modellierung als iterativen Prozess. Neben der möglichen Veränderbarkeit externer Faktoren werden im Gespräch auch Ansätze für die Vernetzung zwischen wirtschaftlichen und technischen Zusammenhängen geäußert, die im Modell selbst nicht dargestellt sind.

IDM17-S960 wiederum äußert die Herausforderung, in Anbetracht der verfügbaren Informationen eine geeignete Leitfrage zur Modellierung zu finden. Der Wechsel der Leitfrage wird wie folgt beschrieben:

*IDM17-S960: [...] die Frage zu nehmen . Wie könnte sich die Substratnutzung entwickeln, weil da ja detailliert aufgeschrieben ist ähm wie die bisher war. Und dann hatte ich mir Gedanken gemacht oder halt aufgeschrieben die einzelnen Punkte aus dem Ding rausgenommen[...] dann war ja Schluss letzte Woche, dann hab ich mir überlegt oh das ist voll schwierig, da ein Wirkungsdiagramm zu machen, weil ich nicht weiß, wie es in Zukunft aussieht und auch nicht so richtig die Beziehungen zwischen den einzelnen Sachen ähm machen kann. #00:01:06# Und dann hab ich mir überlegt was Neues zu machen [...] (Fokusgruppen\IDM17\_Gp3\_teil1: 4)*

Hier wird explizit der Umgang mit unvollständigen Informationen als Problem benannt und der eingeschlagene Lösungsweg aufgezeigt. Das von IDM17-S960 präsentierte Modell ist somit nach einem Themenwechsel erst im zweiten Teil der Intervention entstanden. Da bereits am ersten Termin eine Beschäftigung mit der Modellierungsmethodik stattfand, ist das Modell trotzdem recht umfangreich. Die begrenzte verfügbare Zeit zeigt an, dass der Einsatz von Systemmodellierung in Ansätzen auch durch Rahmenbedingungen wie die verfügbare Zeit beeinflusst werden kann und dass im Rahmen einer umfangreicheren Lehrveranstaltungen andere Modellierungsergebnisse erreichbar sein können (vgl. auch Kapitel 15.2).

Typus 4 erkennt, ähnlich wie Typus 5, das Problem eines unvollständigen Einsatzes von Wirkungsdiagrammen nicht selbst. Jedoch unterhalten sich die Vertreter\*innen von Typus 4 über andere methodische und inhaltliche Herausforderungen und entwickeln im Gespräch ihr Modellierungsverständnis weiter. Der durchgehende Einsatz von Wirkungsdiagrammen mit Berücksichtigung von Rückkopplungen im Posttest zeigt, dass der Umgang mit der Modellierungsmethodik im Verlauf der Studie schrittweise erweitert wird.



*Zusammenfassung Typus 4*

Typus 4 entspricht am ehesten den Lernenden, die in der System Dynamics Literatur oft beschrieben werden: Es besteht die Tendenz, statt rückkoppelnder Zusammenhänge (zunächst) lineare Muster zu erkennen und Wirkungsketten darzustellen (vgl. Kapitel 4).

Die Entwicklung eines Methodenverständnisses für Wirkungsdiagramme im Verlauf der Studie zeigt sich dadurch, dass im Posttest Rückkopplungen identifiziert werden, die in der Intervention noch fehlten. Die Systemmodellierung kann damit als Prozess beschrieben werden, der über den Austausch gestärkt wird. Besonders bezüglich eines mehrperspektivischen Systemverständnisses fördert die Gesprächssituation der Modellvorstellung die Weiterentwicklung: Für Personen des Typus 4, die zunächst ein perspektivreduziertes Modell entwickeln, unterstützt der Kommunikationskontext die Offenheit gegenüber weiteren Perspektiven.

## 14 Diskussion der Studiengüte

In diesem Kapitel wird die Güte des qualitativen Forschungsprozesses anhand der in Kapitel 6.8 beschriebenen Kriterien diskutiert. Zudem werden Limitationen der Arbeit aufgezeigt und die Studie wird im Kontext des eigenen Bildungshintergrundes, sowie der damit einhergehenden Perspektivität reflektiert.

### 14.1 Interne Studiengüte

Die Einschätzung der internen Studiengüte erfolgt über die in Kapitel 6.8 dargestellten prozeduralen Kriterien zur Bewertung qualitativer Forschung.

#### *Angemessenheit der Auswertungsmethoden*

Ziel der inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) war in der vorliegenden Studie ein explorativer Zugang zu den Daten, um einerseits typische Einflüsse zwischen Systemmodellierung und Mehrperspektivität aufzuzeigen und andererseits das Spektrum der Ausprägungen in den Daten abzubilden. Mit der evaluativen Inhaltsanalyse wiederum wurden auf abstrakterer Ebene Muster auf Fallebene aufgezeigt (vgl. Kapitel 7.2.4f.). Da eine Kombination dieser Analyseformen die Typenbildung im mehrschichtigen Datenmaterial ermöglicht, scheint die qualitative Inhaltsanalyse angemessen bzw. indiziert, um den Forschungsgegenstand zu ergründen (vgl. Kuckartz 2018, S. 204, Flick 2009, S. 512).

Für den Einsatz der qualitativen Inhaltsanalyse (qIA) und anschließenden Typenbildung in dieser Arbeit sprechen auch die folgenden Aspekte:

- 1) Als inhaltsanalytische Methode bietet die qIA ein regelbasiertes, strukturiertes Vorgehen, das Auswertungsschritte gerade in Anbetracht eines komplexen Forschungsgegenstands nachvollziehbarer macht.
- 2) Die qIA nach Kuckartz impliziert einen Zugriff auf Originaldokumente und eine Betrachtung von Zitaten etc. im Kontext ihrer Äußerung. MAXQDA als Software für qualitative Sozialforschung ermöglicht die Darstellung verschiedener Datentypen, womit jederzeit auf Originalsegmente in ihrem Kontext zugegriffen werden kann, so dass Äußerungen in der Komplexität ihres Kontexts eingeordnet werden können.
- 3) Das Verfahren der qIA ist für die Samplegröße von 30 Personen anwendbar.

Die qIA ist ein Modell, das selbst wieder flexibel eingesetzt werden kann. In dieser Arbeit wurden deduktive und induktive Kategorienbildung kombiniert, um im zyklischen Forschungsprozess mit einem Datenkorpus aus mehreren Dokumenttypen zu arbeiten und über die qIA die Grundlage für die Ableitung einer Typologie zu schaffen (vgl. Kuckartz 2010, S. 201, Tippelt 2010, S. 124f.).

Es wurde das inhaltsanalytische Verfahren nach Kuckartz für die umfangreichen Daten mit verschiedenen Dokumenttypen gewählt, da mit diesem Ansatz verglichen mit der Inhaltsanalyse nach Mayring (vgl. Kapitel 7.2) ein dauerhafter Bezug zu den Originaldaten erhalten bleibt. Zudem eignet sich die Inhaltsanalyse nach Kuckartz zum Einsatz in einem zyklischen Forschungsprozess, da ein stetiger Rückbezug auf die Forschungsfrage möglich und erwünscht ist. Weiterhin bietet die Inhaltsanalyse nach Kuckartz die methodische Grundlage, um von textstellen- zu fallbezogener Codierung überzugehen.

Die methodische Orientierung am strukturierten Vorgehen der qIA vereinfachte die Darstellung von Auswertungsprozessen und Ergebnissen, sowie die Auditierbarkeit des Prozesses. Gleichwohl ist darauf hinzuweisen, dass „die Anwendung schematischer Regeln [...] häufig schwierig [ist]“ (Flick 2009, S. 124). Beispielsweise waren Datensätzen bezüglich einzelner Datentypen unterschiedlich umfangreich. In der vorliegenden Studie wurde daher entschieden, Datenpassagen, die bei mehreren Fällen fehlten, von der Analyse auszunehmen. Diese Änderungsprozesse in der Auswertung wurden durch die Beschreibung zentraler Entscheidungen und explizite Darstellung des zyklischen Auswertungskonzepts transparent gemacht (vgl. Kapitel 7.5).

Die Methodik der Codierung wurde zu Studienbeginn durch die Intercoder-Übereinstimmung strukturaler Kategorien geprüft (vgl. Kapitel 9). Für analytische Kategorien auf Fallebene konnte jedoch keine Zweitcodierung realisiert werden. Angesichts der Komplexität einer Codierung mit analytischen Kategorien wäre ein „gleichzeitig gemeinsames Codieren“ (Rädiker und Kuckartz 2019, S. 289) während des gesamten zyklischen Analyseprozesses eine geeignete Lösung, die mangels Ressourcen jedoch nicht umsetzbar war und methodisch dem Vorgehen einer Qualifikationsarbeit als Individualleistung entgegensteht.

Auch bei der Entwicklung der Typologie konnte nur ein Teil der erhobenen Daten berücksichtigt werden.

Die Selektion von Daten und Reduktion von Komplexität im Datenmaterial ist Teil des Forschungsprozesses der Typenbildung (vgl. Kluge 2000, S. 23). Hierbei wurde zur Entwicklung der Typologie ein Fokus auf Daten gelegt, die auf Fallebene vergleichbar waren. Es resultierte für die Typologie ein niederdimensionaler Datensatz, in welchem intern homogene Gruppen identifiziert wurden. Diese wurden

in der Charakterisierung der Typen in Kapitel 12 und 13 wieder im Kontext der Gesamtdaten betrachtet.

Die Beschreibung des Kategoriensystems und insbesondere der Merkmalsausprägungen für die Typologie wurden ausführlich im Haupttext dargestellt.

Die Identifikation von Typen über dem Merkmalsraum der Typologie verfolgt dabei die

*„Zielsetzung [...] zunächst einen besseren Überblick zu erhalten, daher sind Unterscheidungskriterien so zu wählen, dass sich eine geringe Anzahl von Typen im Verhältnis zum Umfang der untersuchten Elemente ergibt, und dennoch hinreichende Unterschiede vorhanden sind“ (Kluge 2000, S. 27).*

So wurden fünf Typen identifiziert, die sich gemäß ihrer Lage im Merkmalsraum erneut zu zwei Gruppen – den Zentraltypen und den Randtypen – zusammenfassen ließen.

Neben der Darstellung des „Typischen“ mit Bezug auf die Dimensionen des Merkmalsraums wurden insbesondere bei den Zentraltypen Varianten identifiziert, und damit die Breite der sekundären Merkmalsausprägungen aufgezeigt. Dabei wurden verschiedenen Dokumenttypen, insbesondere Modelle und ihre Vorstellung, teilweise jedoch auch soziodemographische Daten eingebunden. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die Auswahl der Daten neben formalen Kriterien (Vermeiden von Dokumentpassagen, welche die Pseudonymität beeinflussen könnten), und den benannten Kriterien der strukturellen Vergleichbarkeit von Dokumenttypen, die auch über Intercoder-Übereinstimmung unterstützt wurde, besonders mit Blick auf die Interpretation von „Mehrperspektivität“ der Logik der Forscherin folgt, was als mögliche Verzerrung gesehen werden kann (vgl. Flick 2009, S. 502).<sup>134</sup> Insbesondere erfolgte die Operationalisierung der Mehrperspektivität über die a priori festgelegten Perspektiven Wirtschaft, Technik, Umwelt und Gesellschaft.

---

<sup>134</sup> Eine Selbstreflexion zum Blickwinkel der Forscherin ist in Kapitel 14.4 dargestellt.

### *Fixierung von Daten, Dokumentation und Transkription*

Die Modelldarstellung der Teilnehmenden aus der Intervention, sowie aus Pre- und Post-Test wurden als digitale Kopien in MAXQDA erfasst und in die Software Vensim<sup>®</sup> übertragen (vgl. Kapitel 6.6.2). Weitere schriftliche Items aus Pretest, Intervention und Posttest wurden in tabellarischer Form erfasst.

Die auf Tonband aufgezeichnete Modellvorstellung wurde inhaltlich-semantic transkribiert (vgl. Kapitel 6.6, Dresing und Pehl 2018, 21f., S. 21f.). Damit lagen für den Modellierungsprozess in der Intervention zwei Dokumenttypen vor, mit denen die von den Teilnehmenden gemeinten Zusammenhänge zu ihren Modellen erschlossen werden konnten. Zwar stellt die vernetzte Auswertung von Modellen und Modellvorstellungen kein Member Checking (vgl. Kuckartz 2018, S. 218) im Sinne einer inhaltlichen Überprüfung der Analyseergebnisse durch die Teilnehmenden dar, jedoch wurde die vernetzte Auswertung von graphischen Modellen und ihrer verbalen Beschreibung durch Teilnehmende durchgeführt, die als validierende Form der Datenerhebung und -auswertung bereits in anderen Studien erprobt und empfohlen worden war (vgl. Kapitel 6.7, Ossimitz (2000)).<sup>135</sup>

Für Interviews und Fokusgruppendifkussionen werden Gesprächsführung, Tiefe und Authentizität, sowie der Glaubwürdigkeit und Konsistenz von Antworten als Gütekriterien benannt (vgl. Kuckartz 2018, S. 204). In dieser Studie wurden die Modellvorstellungen nicht durch eine Moderation geleitet, so dass keine Beeinflussung der Gesprächsführung und der inhaltlichen Tiefe durch die Forscherin möglich war. Stattdessen orientierten sich die Teilnehmergruppen in ihren Gesprächsthemen an einer Checkliste. Die aufgezeichneten Gespräche stellen damit eine authentische Gesprächssituation zwischen Teilnehmenden dar. Die Glaubwürdigkeit und Konsistenz der Aussagen konnten über kombinierte Auswertung von Modellen und ihrer verbalen Beschreibung teilweise geprüft werden. Eine unterschiedliche Tiefe und Umfang von Gesprächen zwischen Personen einer Gruppe oder über Gruppen hinweg ließ sich nicht vermeiden und wurde ansatzweise über die Kategorie *Interaktion* im Kategoriensystem dargestellt.

Passagen aus den Leitfrageninterviews zur Überprüfung soziodemografischer Daten wurden transkribiert und auszugsweise in der Zusammenhangsanalyse zur kommunikativen Validierung soziodemografischer Daten eingesetzt.

Die Transkription der Dokumente erfolgte weitgehend durch die Forscherin selbst und wurde studienbegleitend durchgeführt. Dies ermöglichte einen Gesamtsicht über die

---

<sup>135</sup> Diese Form der Validierung ist zudem realisierbar, wenn der Zugang zum Feld wie in der vorliegenden Studie nicht langfristig besteht und somit ein zeitversetztes Member Checking nicht möglich wäre.

Daten und unterstützte Änderungsentscheidungen für die weitere Studiendurchführung und Studienaushwertung.

Gleichzeitig stellte sich bei genauer Kenntnis der Daten im Querschnitt mit Bezug auf die Studiengruppe IDM16, deren Daten zuerst zur Verfügung standen, die Herausforderung, ein zu starkes Eintauchen in die Daten dieser Gruppe zu vermeiden: Diese Gruppe zeigte sich auf Studiengangsebene bezüglich verschiedener Merkmale besonders homogen, was sich in anderen Gruppen nicht bestätigte. Um Verzerrungen zu vermeiden, wurde daher im dritten Zyklus der Auswertung die Gruppe IDM16 nicht bei der Bildung der Ausprägungen des finalen Kategoriensystems berücksichtigt (vgl. Kapitel 7.5.3). In Studien mit mehr Teilnehmenden aus einem Studiengang könnte überprüft werden, inwiefern hier ein Spezifikum kleiner Gruppengrößen vorliegt.

Die Erfassung der Daten erfolgte pseudonymisiert (vgl. Kapitel 6.5.1). In die Auswertung wurden nur Daten von Personen integriert, die einer vollständigen Datennutzung zugestimmt hatten. Im Rahmen der Auswertung wurden zudem Daten von Personen entfernt, die nicht an beiden Terminen der Studie teilgenommen hatten, da dort die Kontextualisierung von Aussagen und Ergebnissen nur bedingt möglich und der Umfang verfügbarer Daten nicht mit dem anderer Teilnehmender vergleichbar war. Dieser Schritt reduzierte die Anzahl auswertbarer Fälle. Dies ist besonders in der Gruppe PHT16 deutlich, bei der nur drei von acht Personen in der Auswertung berücksichtigt werden konnten.<sup>136</sup>

Insgesamt waren weniger als 25% der Teilnehmenden weiblich, in zwei Studiengruppen waren nur männliche Studierende vertreten. Unter den Personen, die kein Einverständnis zur Datennutzung erteilten, waren mehrere Teilnehmerinnen. Dadurch reduzierte sich die Anzahl der in der Studie berücksichtigten weiblichen Studierenden erneut.

Zum Erhalt der Pseudonymisierung wurde von einer Aufschlüsselung von Ergebnissen nach Geschlecht abgesehen, da andernfalls Kontextinformationen auf die Identität einzelner Teilnehmerinnen schließen lassen könnten (vgl. Flick 2009, S. 66ff.). Bezüglich methodischer Kenntnisse in der Systemmodellierung zeigten sich in anderen Studien keine klaren Einflüsse des Geschlechts auf die Studienleistung (vgl. Ossimitz 2000, Cronin und Gonzalez 2007, S. 8, Cronin et al. 2009, S. 121). Eine Differenzierung nach Geschlecht könnte jedoch für Folgestudien interessant sein, um zu untersuchen, inwiefern ein mehrperspektivisches Denken bei Teilnehmerinnen sich von dem männlicher Teilnehmer unterscheidet und inwiefern dies mit Faktoren wie

---

<sup>136</sup> Es wurde jedoch geprüft, dass keiner der hierdurch ausgeschlossenen Fälle in der Typologie Merkmalsausprägungen aufwies, die extremer waren als die Ausprägungen der in der Typologie erfassten Fälle.

Motivation und Selbstvertrauen von Teilnehmerinnen im Lernprozess zusammenhängt (vgl. Gilbert 2021, S. 69ff.).

Der Arbeits- und Versionierungsprozess wurde in einem Protokoll erfasst. Wichtige Entscheidungen im zyklischen Auswertungsprozess, wie die Entfernung von Datensätzen und die Weiterentwicklung von Kategorien, wurden explizit im Text beschrieben (vgl. Kapitel 7.5, Abbildung 14-2).

Notizen zu Dokumentstellen und Fällen wurden anfänglich in Memos in MAXQDA, später in tabellarischer Form festgehalten. In Abbildung 14-1 ist exemplarisch ein Memo zu einer Fallzusammenfassung dargestellt.

Nicht-tabellarische Daten der Studie wurden in MAXQDA erfasst, wobei eine Codierung mit dem Pseudonym eine dokumentenübergreifende Fallübersicht ermöglichte.<sup>137</sup>

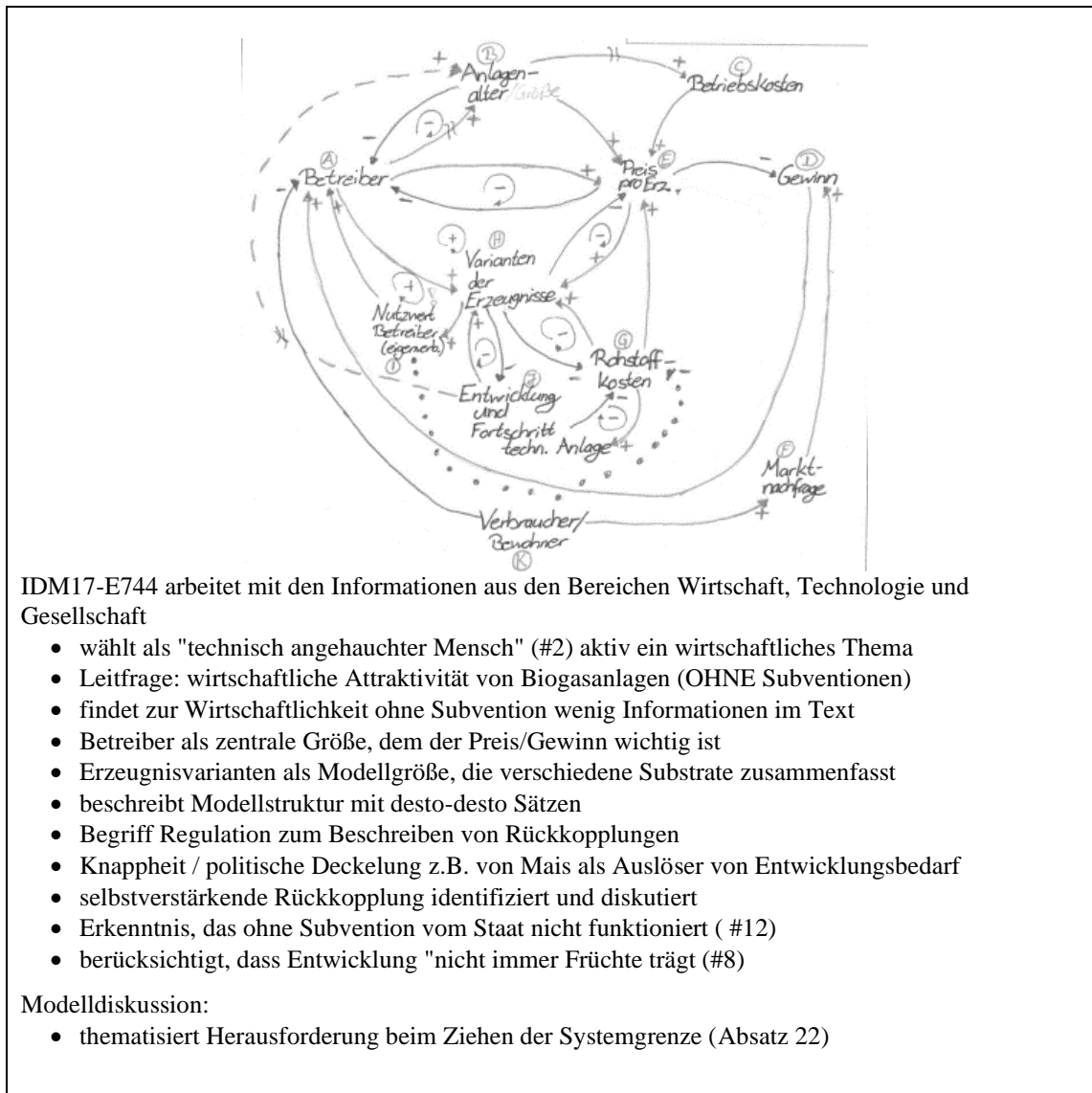
Die Codierung und Ausdifferenzierung des Kategoriensystems erfolgte zunächst textstellenbezogen in MAXQDA. In der schriftlichen Arbeit ist der Stand des Kategoriensystems bzw. der Typologie nach dem letzten Auswertungszyklus ausführlich dargestellt.

Bei der Auswahl von Dokumentsegmenten half die Zweitcodierung der strukturalen Kategorien: Die Subkategorie „Modellvorstellung“, wurde mit hoher Übereinstimmung durch Forscherin und Zweitcodierende bestätigt (vgl. Kapitel 9) und Dokumentpassagen aus dieser Kategorie bildeten einen Ausgangspunkt für das weitere Auswertungsverfahren.

Nach der Reduktion der berücksichtigten Daten im Rahmen der zyklischen Analyse wurden bei der Zusammenhangsanalyse in den Kapiteln 12 und 13 und durch eine „Einbeziehung von Kontext“ (vgl. Flick 2009, S. 124) wieder komplexere Zusammenhänge aufgezeigt.

---

<sup>137</sup> Tabellen mit einer Darstellung der codierten Kategorien befinden sich in Anhang F die Einordnung der Fälle über den Dimensionen des Merkmalsraums ist in Anhang G dargestellt.



**Abbildung 14-1: Memo zur Fallzusammenfassung von IDM17-E744.**

Insgesamt konnte in den Gesamtdaten durch qualitative Inhaltsanalyse und Typenbildung ein weitgehend kriteriengeleiteter Forschungsprozess durchlaufen werden. Hierbei ist jedoch auch die „fortgesetzte Justierung“ (Strübing et al. 2018, S. 86) zu erwähnen, welche durch die Arbeit mit dem heterogenen Datenmaterial erforderlich war<sup>138</sup>.

<sup>138</sup> Die Bildung des Kategoriensystems erfolgte in Anlehnung an Kuckartz (2018), da die dortige Beschreibung der Kategorienbildung deutlich praxisbezogener schien als in Kuckartz (2010). Die Referenzliteratur zur Inhaltsanalyse wurde damit erst nach Beginn der Studie publiziert. Die vernetzte Auswertung von multimedialen Daten mit der Inhaltsanalyse nach Kuckartz wurde im Jahr 2019 publiziert: Kuckartz und Rädiker (2019), Rädiker und Kuckartz (2019). Insgesamt entschied sich die Forscherin dazu, die Typenbildung gemäß dem allgemeinen Schema durchzuführen (vgl. Abbildung 10-2, außen) und nicht explizit auf die typenbildende Inhaltsanalyse zu referieren, um einen flexiblen Umgang mit verschiedenen Datentypen zu ermöglichen.



## 14.2 Externe Studiengüte

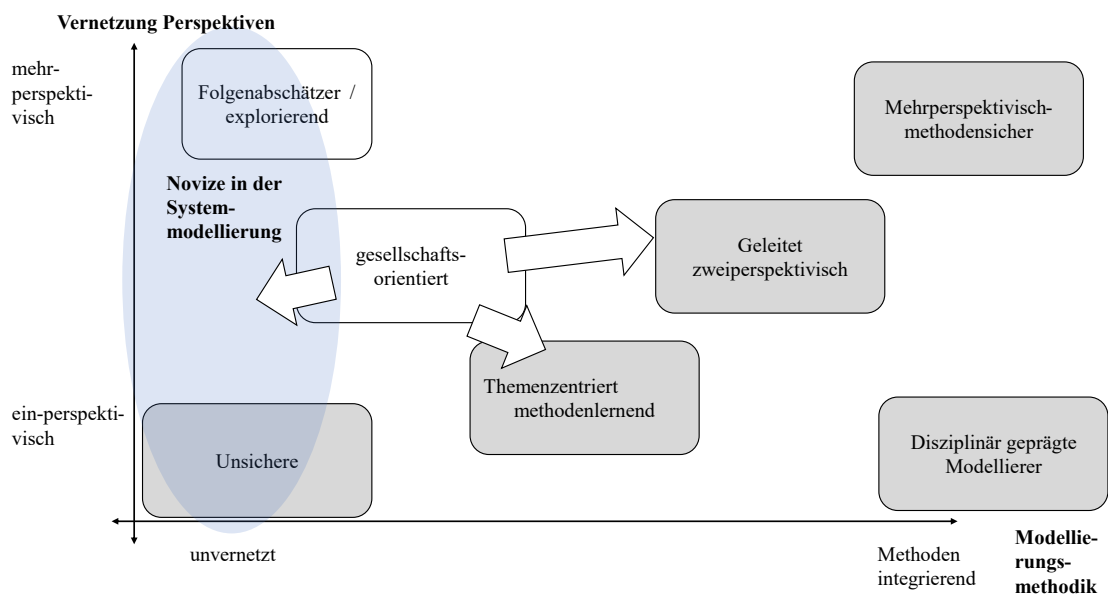
Die externe Studiengüte untersucht unter anderem die Passung, Verallgemeinerbarkeit und Übertragbarkeit von Ergebnissen qualitativer Forschung.

Im Gegensatz zu Kriterien der internen Validität, die auf Ebene der Auswertungsmethoden analysiert werden, sind externe Gütekriterien auf Ebene des Studiendesigns einzuordnen (vgl. Kapitel 6.8).

### *Forschungsprozess*

Da die Entwicklung von Kategoriensystem und Typologie in einem zyklischen Prozess durchgeführt wurde, entwickelte sich nicht nur die Typologie, sondern auch die Zuordnung von Fällen zur Typologie weiter. Wichtige Änderungen und Neusortierungen der Typologie wurden protokolliert. Abbildung 14-2 illustriert exemplarisch einen Veränderungsprozess bei der Neuordnung von Fällen: In der letzten Phase der Analyse wurden die beiden weiß markierten Typen aufgelöst.

Die Gründe für die Verschiebung von Fällen innerhalb der Typologie sind verschieden: Einerseits wurde so die Bildung von Typen, die durch Einzelfälle repräsentiert wurden, vermieden (vgl. Kuckartz 2018, S. 154). Dies führte zur Zusammenführung der Fälle mit geringen Vorkenntnissen zum „Novizen der Systemmodellierung“ (ovale Markierung in Abbildung 14-2).



**Abbildung 14-2: Veränderung von Typen in der letzten Iteration der Typenbildung.**

Andererseits wurde die explizite Gruppierung von Personen mit gesellschaftlich-umweltbezogenem Schwerpunkt im Modell aufgehoben und diese Fälle auf weitere Typen verteilt, da bezüglich der thematischen Codierung in den vorliegenden Daten

eine Verzerrung zugunsten wirtschaftlich-technischer Ausprägungen anzunehmen ist, die sich bei einem anderen Sample gegebenenfalls nicht wiederfinden würde (vgl. Kapitel 12.2 und Kapitel 14.1). Zudem führte die Einordnung der Modellierungskennnisse auf Basis von Pretest, Intervention und Post-Test statt alleiniger Berücksichtigung der Intervention zur Neueinordnung einiger Fälle.

### *Darstellung von Ergebnissen*

In der Ergebnisdarstellung ist eine selektive Plausibilisierung zu vermeiden. Neben dem „Typischen“ dienen auch Widersprüchen und Abweichungen „der Nachvollziehbarkeit des Forschungsprozesses und der Abbildung des Forschungsgegenstandes“ (Flick 1989, in Flick 2009, S. 488). Weiterhin kann selektive Plausibilisierung durch Zugriff auf verschiedenen Datentypen verringert werden (vgl. Flick 2009, S. 325). Es ist hierzu möglich „ein Spektrum von Antworten“ (Kuckartz 2018, S. 222) darzustellen. In der vorliegenden Studie wurde, besonders bei der Charakterisierung der Typen, Modellzitate als Kombination von Modelldarstellung und Transkriptausschnitten zur Modellvorstellung eingesetzt, um die Modelle und die von den Teilnehmenden beschriebenen Modellierungserfahrungen zu berücksichtigen. Ähnlich wie bei Ossimitz (2000) beschrieben (vgl. Kapitel 4.3.4), erwies sich dies als hilfreich, um die eigene Analyse ausgehend von der Darstellung und den Argumentationsformen der Studienteilnehmer\*innen zu gestalten. Gleichzeitig führte dies bei der Auswertung zu einer möglichen Verzerrung, da Personen, die ihr Modell ausführlicher vorstellten, potenziell häufiger in der Arbeit zitiert wurden.<sup>139</sup>

In der Entwicklung der Typologie wurden auch extreme Ausprägungen berücksichtigt. So war beispielsweise der Typus des „Novizen der Systemmodellierung“, der Wirkungsdiagramme überhaupt nicht einsetzt, nicht vorhersehbar. Die Gründe für die Ausprägung sind mit den vorliegenden Daten nicht erklärbar. Es sind höchstens Indizien formulierbar, die Einflussgrößen aufzeigen. Auch deswegen ist die Typologie als beschreibend zu verstehen und kann nur in Ansätzen und mit Bezug auf das vorliegende Sample zum Verstehen oder Erklären der Wirklichkeit beitragen (vgl. Tippelt 2010, S. 124, Kapitel 14.3).

Das Aufzeigen des Merkmalspektrums wurde besonders bei der Zusammenhangsanalyse der Zentraltypen in Kapitel 13 aufgegriffen. Hier ist die Eigenschaft einer polythetischen Typologie erkennbar: Die auf der zweidimensionalen Ebene des Merkmalsraums homogenen Gruppierungen wiesen bezüglich weiterer Ausprägungen sehr unterschiedliche Eigenschaften auf, welche in der Zusammenhangsanalyse ihrer Ausprägungsvielfalt dargestellt wurden.

---

<sup>139</sup> Der Umgang mit fehlende Äußerungen wurde auch für die Kategorie *benannte Herausforderungen* im Kategoriensystem diskutiert (vgl. Abschnitt 8.3.7).

Diese Vielfalt ist auch über das Sampling erklärbar: Da an der Erhebung (vgl. Kapitel 6.3) Technikstudierende aus verschiedenen Studiengängen teilnahmen, wurden Daten von Studierende mit unterschiedlichen Vorkenntnissen und Studienzielen erfasst, deren Vielfalt in Ansätzen die Heterogenität der Hochschullandschaft widerspiegeln kann (vgl. Hanft et al. 2015), jedoch sicher nicht breit gefächert genug ist, um die Gesamtheit von Technikstudierenden zu repräsentieren.

Da unterschiedliche Ausprägungen von soziodemografischen Merkmalen und Vorkenntnissen auch innerhalb derselben Studiengruppe auftraten, war kein pauschaler Einfluss von Vorkenntnissen auf den Modellierungsprozess nachweisbar. Die Einflussfaktoren scheinen vielmehr vielfältig, was mit den in Kapitel 4 dargestellten Erkenntnissen aus anderen Studien korrespondiert, dass Systemdenken und entsprechende Kompetenzen nicht einfach beschreibbar sind.

Hier könnte über eine Studie mit größerem Sample untersucht werden, in welcher Form Modellierungsvorkenntnisse und deren Aktivierung die Modellierung in der Intervention beeinflussen.

#### *Verallgemeinerbarkeit und Anwendbarkeit*

Mit dem qualitativen Forschungsdesign und der Fallebene als Referenzebene der Typologie kann der Anspruch der vorliegenden Arbeit nicht darin bestehen, Aussagen zu treffen, die für einen Studiengang oder eine andere Gruppierung repräsentativ sind. Ein Darstellungsziel der Studie ist vielmehr zu erkunden, welche Einflussfaktoren relevant sein können (vgl. Flick 2009, S. 124ff.), wenn Systemmodellierung und Mehrperspektivität im Rahmen eines Lernsettings bei Technikstudierenden verknüpft werden sollen.

Aus den Ergebnissen der Studie lassen sich jedoch auf abstrahierter Ebene strukturelle Erkenntnisse formulieren, die Ausgangspunkt für weitere Forschung und Entwicklung von Lehrkonzepten sein können (vgl. Hering und Schmidt 2014, S. 536).

1. Die Typologie zeigt die Breite der Merkmalsausprägungen bezüglich der Achsen *Vernetzung von Perspektiven* und *Entwicklung der Modellierungskennnisse* auf. Bei zentral lokalisierten Fällen ist bezüglich der berücksichtigten sekundären Daten ein fließender Übergang zu erkennen, der darauf hindeutet, dass das Niveau der Systemmodellierung und die Vernetzung von Perspektiven, welches die Zentraltypen erreichen, von Personen mit verschiedenen Vorkenntnissen und aus verschiedenen Studiengängen erreicht werden kann. Die Entwicklung einer Lernumgebung kann darauf Bezug nehmen (vgl. Kapitel 15.2).

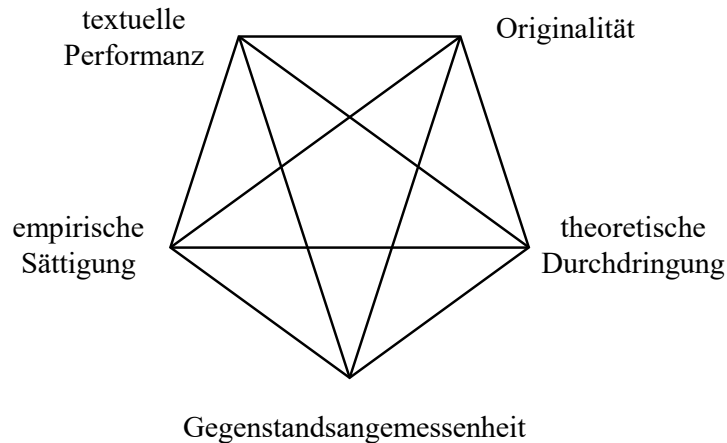
2. Die Merkmalsausprägungen der Randtypen mit jeweils einer extremeren Ausprägung eines Merkmals lassen sich über Sekundärdaten plausibilisieren. Dies kann dazu genutzt werden, um spezifische Maßnahmen abzuleiten, mit denen Personen mit geringen methodischen Vorkenntnissen in der Modellierung dynamischer Systeme gefördert werden oder Personen, die fortgeschrittene Modellierungskenntnisse besitzen, sich in der Modellierung aber auf ihren Fachbereich konzentrieren, zu einer mehrperspektivischen Denkweise motiviert werden können.
3. Bezüglich des Studiendesigns kann festgehalten werden, dass ein Lernsetting, in dem Studierende aktiv Modelle erstellen und hierbei eine selbst formulierte Fragestellung bearbeiten, für die Zielgruppe Technikstudierender nutzbar scheint, um über die Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen Mehrperspektivität zu fördern.

Insgesamt ist die Typologie als Modell zu verstehen, in dem ein Ausschnitt des Lernprozesses der Teilnehmenden abgebildet wird. Die in Kapitel 13 aufgezeigte Entwicklung der Zentraltypen während der Studie deutet darauf hin, dass die Zuordnung von Fällen zu einem Typus nicht statisch sein muss, sondern sich im Rahmen einer umfangreicheren Lerneinheit verändern könnte. Hier wäre bei einer Auswertung von Daten zu mehreren Messzeitpunkten eine Weiterentwicklung der Typologie hin zu einer Entwicklungstypologie denkbar (vgl. Tippelt 2010, S. 124). Die extremeren Merkmalsausprägungen der Randtypen bilden andererseits Grenzen und Herausforderungen mit dem Lernsetting der Studie ab, was als Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung desselben genutzt werden kann.

### **14.3 Limitationen der Arbeit**

Nach der Diskussion von Gütekriterien sind in diesem Abschnitt noch einmal Limitationen der vorliegenden Arbeit zusammengefasst. Es folgt eine Reflexion der Forscherin zur eigenen Perspektivität und zum Einfluss des Bildungshintergrunds auf die vorliegende Studie in Kapitel 14.4, ehe in Kapitel 15 als Ausblick Impulse für weitere Forschungsprojekte und mögliche Lernpfade für die Förderung von Mehrperspektivität durch Systemmodellierung aufgezeigt werden.

Die Einordnung der Limitationen orientiert sich am Pentagramm qualitativer Gütekriterien nach Strübing (2018) (vgl. Abbildung 14-3).



**Abbildung 14-3: Pentagramm qualitativer Gütekriterien (verändert nach Strübing et al. 2018, S. 98).**

### 14.3.1 Theoretische Durchdringung

Theoretisches Vorwissen ist in der qualitativen Sozialforschung essenziell (vgl. Meinefeld 1997, in Strübing 2018, S. 211). In der vorliegenden Studie ergab sich die Herausforderung, für das Forschungsdesiderat einen theoretische Bezugsrahmen aufzubauen, und dabei die bildungswissenschaftliche Sicht auf Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen und einer mehrperspektivischem Technikdidaktik zu kombinieren. Dabei stellt die Tradition der System Dynamics Modellierung, die in der vorliegenden Studie methodisch eingesetzt wurde, eine eigene Weltsicht dar (vgl. Kapitel 5.3.8), die ein rationales Handeln in Entscheidungssituationen impliziert (vgl. Größler 2004). Dieses Konzept ist auch in den in bildungswissenschaftlichen Studien, die in Kapitel 4.3 dargestellt wurden, implizit prägend, da die dort beschriebenen Studien ein einfaches Modell der Korrespondenz zwischen mentalen Modellen und individuellen internen Denkmodellen annehmen (vgl. Abbildung 4-1).

Diesem Zugang steht in dieser Studie ein Interventionsdesign gegenüber, das eine Offenheit in der Modellierung, sowie deren Prozesshaftigkeit berücksichtigt und fördert. Das Studiendesign orientiert sich damit eher an der Models and Modeling Perspektive der Ingenieurdidaktik (vgl. Kapitel 4.4) und an einem transdisziplinären Denken (vgl. Kapitel 5.1.3 und 15.1.3), die Modellierung prozessbezogen und über vielschichtige Kriterien betrachten.

Da eine Diskussion wissenschafts- oder erkenntnistheoretischer Grundlagen den Rahmen der vorliegenden Arbeit überschritten hätte, entschied sich die Forscherin für eine Darstellung der Ursprünge der Systemmodellierung und für das Aufzeigen der verschiedenen Forschungslinien (vgl. Kapitel 3 bis 5). Eine Synthese der theoretischen Konzepte wurde in der vorliegenden Studie nicht geleistet, jedoch werden in Kapitel

15.1.2 Vorschläge für die Integration theoretischer Konzepte in Forschungsvorhaben, die perspektivische und dynamische Komplexität vereinen, formuliert.

Die Entwicklung der Interventionsstudie war somit nicht eng an ein Theoriekonzept gebunden, sondern eher pilotierend gestaltet: Das Design von Pre- und Posttest wurde als bewährtes Gerüst nach Ossimitz (2000) (vgl. Kapitel 4.3.4 und 6.2) übernommen. Das aktive Lernsetting der Intervention jedoch wurde von Grund auf, und in gewisser Weise als Gegenmodell zu den „Lehrbuchsituationen“ (vgl. Schaffernicht und Groesser 2016, S. 58) generiert, um die Synthese von Modellen in den Vordergrund zu stellen. Im Forschungsprozess erfolgte eine zyklische Weiterentwicklung der Intervention, die insbesondere auch mit Kürzungen einherging. Angesichts abweichender Rahmensituation ist somit trotz gleicher Pre- und Posttest-Aufgaben keine Vergleichbarkeit von Ergebnissen mit anderen Studien gegeben. Dies wurde auch für andere pilotierende Studien berichtet (vgl. Sommer 2005, S. 245ff.).

#### *14.3.2 Originalität*

Forschungsarbeiten sollen „relevant und neu“ (Strübing 2018, S. 214) sein und sich dabei am Sachwissen, sowie am Stand der Forschung des Feldes orientieren. Der „Proof-of-Concept-Charakter“ der vorliegenden Studie impliziert andererseits auch ihre Originalität: Hinsichtlich des Forschungsstands wurde methodisch wurde nach aktuellen Forschungskriterien qualitativer Sozialforschung gearbeitet, wobei die das Werk von Kuckartz (2018) als Referenz diente. Die Aufarbeitung des Sachwissens wurde bereits im vorigen Abschnitt dargestellt.

Die Neuheit des Konzepts, Systemmodellierung zur Förderung von Mehrperspektivität einzusetzen, wurde in Kapitel 6.1 erörtert. Zur Relevanz der Arbeit ist anzumerken, dass diese als grundlegende Studie im benannten Forschungsfeld zunächst eine spezifische Forschungslücke füllt, indem beschreibend der Einsatz der Systemmodellierung zur Mehrperspektivität exploriert wurde.

Die Ableitung theoretischer Folgerungen oder praktischer Handlungen ist also kein Ziel der Studie. Es werden jedoch Ideen hierzu in Kapitel 15 vorgestellt.

#### *14.3.3 Empirische Sättigung*

Empirische Sättigung entsteht durch die „Erschließung des Feldes und den Rapport zum Feld“ (Strübing 2018, S. 209), die „Vielfalt und Breite des Samples“ (ebd.). und die „Intensität mit der Daten gewonnen und analysiert werden“ (ebd.).

Der Zugang zum Feld erfolgte nach recht pragmatischen Kriterien: Es nahmen an der Studie Gruppen teil, bei denen eine Durchführung der Studie organisatorisch

(räumlich und zeitlich) möglich war und bei denen eine Studienteilnahme durch Anreize motiviert werden konnte<sup>140</sup>.

Mit einem Sampling über verschiedene Studiengänge wurde eine umfangreiche Datenbasis geschaffen, die eine „Vielfalt und Breite“ (ebd.) an Fällen und Merkmalsausprägungen aufweist.

Hierbei sind folgende Einschränkungen zu nennen: Aufgrund der Exploration des Forschungsfeldes erfolgte die Datenerhebung zu Beginn in einem offenen Ansatz. Es wurden, im Nachhinein betrachtet, mehr Erhebungsbereiche berücksichtigt, als in der Auswertung umfassend verwertet werden konnten. So wurden in den Iterationen der Interventionsanpassung sukzessive Daten von der weiteren Analyse ausgenommen, um eine für eine Typologie handhabbare Datenbasis zu generieren. Die anfangs intensive Beschäftigung mit Einzelfallbeschreibungen wurde durch zunehmende Abstraktion und Analyse durch Kategorienbildung und Typenbildung ersetzt. In der Zusammenhangsanalyse der Typologie konnte auf die Vielfalt der sekundären Daten teilweise Bezug genommen werden – natürlich bleiben jedoch auch viele Aspekte unberücksichtigt.

In der Entwicklung einer Typologie wurde für das Sample in gewisser Weise eine empirische Sättigung erreicht: Mit den vorliegenden Fälle ließen sich keine weiteren Ausprägungen für die Typen auf der abstrakten Ebene der Typologie identifizieren. Die Aussage, dass „nichts relevantes Neues mehr [zu] finden [sei]“ (Strübing 2018, S. 210) bezieht sich für die vorliegenden Studienergebnisse nur auf den zweidimensionalen Merkmalsraum der Typologie mit ihren abstrahierten Kategorien und lässt die Einflüsse vieler weiterer Merkmale unberücksichtigt bzw. kann sie nur in Ansätzen über die Zusammenhangsanalyse angedeutet.

Beispielsweise sind in der Typologie die Berücksichtigung von Vorkenntnissen im Bereich der erneuerbaren Energien als Trägerthema nicht detailliert berücksichtigt (vgl. auch Kapitel 15.1.1). Auch wurde die Vernetzung von Perspektiven nur in ihrer Anzahl, nicht in ihrer Art berücksichtigt (vgl. Kapitel 8.4.4).

Im Nachhinein betrachtet wäre für eine Erstbeschreibung des Forschungsfeldes anstelle der Entwicklung einer Typologie über analytische Kategorien auch eine fallbezogene Auswertung mit weniger Fällen, aber unter Berücksichtigung der verfügbaren umfangreichen Daten interessant gewesen. Insbesondere hätte hierbei eine kommunikative Validierung zu Zwischenanalysen eingesetzt werden können, um den subjektiv gemeinten Sinn in den Modellen besser zu erschließen, und somit

---

<sup>140</sup> Teilleistung für eine Prüfung (IDM), Anwesenheitspflicht im Rahmen einer Pflichtveranstaltung (IP17 und PHT16) bzw. Sammeln von Stunden für Soft Skill Modul (MSE16).

insbesondere bei Fällen, deren Ausprägungsmuster den heterogenen „Zentraltypen“ entspricht, weitere Sinnzusammenhänge aufzuzeigen.

#### *14.3.3.1 Textuelle Performanz*

Ein Anliegen der Forscherin war es, die „iterativ-zyklischen Prozesslogik qualitativen Forschens“ (Strübing 2018, S. 207) transparent zu machen und textuell darzustellen.<sup>141</sup> Es stellen sich dabei ähnliche Herausforderungen wie bei der Übersetzung von Wirkungsdiagrammen in Wortmodelle (vgl. Kapitel 3.2): Eine Linearisierung vernetzter Zusammenhänge ist nötig. Hierzu wurde entschieden, den vernetzten Prozess zwischen Datenauswahl, Kategorienbildung und Entwicklung der Typologie (vgl. Abbildung 7-4) getrennt darzustellen. So ist das zyklische Vorgehen und einhergehende Entscheidungen explizit in Kapitel 7.5 skizziert (wobei die Reduktion auf drei Iterationen wiederum eine Vereinfachung darstellt). Die Entwicklung der Typologie wurde zunächst methodisch und konzeptionell in den Kapiteln 10 und 11 dargestellt, ehe die Ergebnisse beschrieben wurden. In der Arbeit wird vor allem das Ergebnis des zyklischen Prozesses abgebildet, wobei Übersichten und Abbildungen unter Einbindung verschiedener Dokumenttypen die Darstellung ergänzen.

#### *14.3.4 Gegenstandsangemessenheit*

Im Forschungsprojekt konstituieren Forschungsfrage, Methoden, empirische Fälle aber auch Datentypen und Theorien den Forschungsgegenstand. Die Justierung und Anpassung von Methoden und flexible, offene Nutzung angepasst an den Forschungsgegenstand sind Teil des gegenstandsangemessenen Forschungsprozesses (vgl. Strübing 2018, S. 208), die bereits thematisiert wurden.

Der passende Umgang mit Methoden, Daten und Forschungsfrage war in der vorliegenden Arbeit anfangs herausfordernd, da zunächst eine Datenerhebungs- und Auswertungsstrategie für die heterogenen Daten entworfen werden musste, um der festgelegten Zielsetzung einer Typenbildung zu genügen.

Die Heterogenität der Daten ermöglicht das „Aufspannen“ eines breiten Merkmalsraums, führt jedoch auch dazu, dass die Dimensionen der Typologie letztlich allgemeine Dimensionen abbilden. Durch diese Abstraktion können einerseits vorsichtige Vorschläge für eine Verallgemeinerungen formuliert werden (vgl. Hering und Schmidt 2014, S. 536), was in der vorliegenden Arbeit über die Rand- und Zentraltypen realisiert wurde. Für die Exploration, in welcher Form Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen Mehrperspektivität bei Studierenden

---

<sup>141</sup> Eine transparente Vorgehen verbessert die Auditierbarkeit (vgl. Kapitel 6.8).



technischer Studiengänge fördern kann, ist die Auswertung mit einer Typologie also ein möglicher Ansatz, um Charakteristika verschiedener Fallgruppen darzustellen.

Da in der Studie die Prozesshaftigkeit von Modellierung und Lernprozess aufgezeigt wurden, wäre andererseits auch eine dichte, interpretative Beschreibung von Einzelfällen ein zielführendes Studiendesign zur Exploration des Forschungsgegenstands.

Mit einem größeren Sample, das mehr Studienganggruppen oder mehr Personen pro Gruppe umfasst, würde sich wiederum ein Mixed Method-Ansatz eignen, um empirisch zu validieren, welche der in der Typologie beschriebenen Ausprägungen häufig vorkommen. Hiermit ließen sich die Maßnahmen zur Förderung von Mehrperspektivität durch Systemmodellierung weiter präzisieren und so die Verallgemeinerbarkeit und Anwendbarkeit der Ergebnisse erhöhen.

#### **14.4 Reflexion zur eigenen Perspektivität und zum Bildungshintergrund**

Selbstreflexion ist Teil des qualitativen Forschungsprozesses (vgl. Flick 2009, S. 497). Neben der bereits aufgezeigten Betrachtungen zur Forschungsmethodik sollen im Folgenden die Perspektive der Forscherin auf Systemmodellierung und Mehrperspektivität, sowie der bildungsbiographische Einfluss auf die Studie reflektiert werden.

Mit den Studienfächern Mathematik und Biologie lernte die Forscherin im Erststudium über das Fach Mathematik Methoden zur Beschreibung formaler Systeme kennen. Die Faszination für die Frage, wie sich lebende Systeme beschreiben lassen, führte sie zu Forschungsaktivitäten, in denen biologische Systeme durch mathematische und naturwissenschaftliche und systemwissenschaftliche Ansätze (Systembiologie) in ihrer Komplexität beschrieben und untersucht wurden.

Durch einen Forschungsmaster im Bereich System Dynamics wurde die Forscherin intensiv mit der Methodik der System Dynamics Modellierung vertraut und erkundete die disziplinenübergreifenden Einsatzmöglichkeiten dieses Modellierungsansatzes zur Beschreibung von Systemen, wobei insbesondere Fragestellungen rund um die Energiewende untersucht wurden.

An dieser Stelle ist die Erkenntnis angebracht, dass die Forscherin wohl eine weniger wirtschaftlich geprägte Sicht auf das System Energieversorgung mitbrachte als andere Studierende im gleichen Masterstudiengang. Diese Perspektivität, die nicht wirtschaftlich-rationales Handeln nicht als Ausgangspunkt von Systembetrachtungen nimmt, sondern Wirtschaftlichkeit in Abwägung mit anderen Einflussgrößen

berücksichtigt, spiegelt sich auch in der Konzeption und Auswertung der vorliegenden Studie wider.<sup>142</sup>

Gründe hierfür sind einerseits die fachliche Prägung durch das Erststudium, in dem wirtschaftliches Handeln nicht thematisiert wurde, aber auch die Beschäftigung mit den „Grenzen des Wachstums“, die der Club of Rome vor 50 Jahren anhand von System Dynamics Modellen, den sogenannten „Weltmodellen“ und zugehörigen Simulationen beschrieb (vgl. Meadows et al. 1972). Hier wurden erstmalig Abhängigkeiten zwischen Bevölkerung, wirtschaftlichem Wachstum, Umwelteinflüssen und begrenzte Verfügbarkeit von Ressourcen aufgezeigt.<sup>143</sup>

Andererseits interessierte sich die Forscherin bereits im Masterstudium für die Kontingenz von Modellen und entwickelte in einer Forschungsarbeit einen Ansatz zum Vergleich von *Group Models* weiter, also Wirkungsdiagrammen, welche die mentale Modelle verschiedener Akteuer widerspiegeln.

Motiviert durch eine mehrjährigen Erfahrung in der Hochschullehre, insbesondere in MINT-Grundlagenfächern für Ingenieurstudierende, und einem damit einhergehenden Überblick über die Disziplinen des Ingenieur- und Wirtschaftsingenieurwesens entstand - unterstützt durch die Vorschläge von Prof. Dr. Windelband - die Idee, Systemmodellierung und Mehrperspektivität gemeinsam für die Zielgruppe Technikstudierender zu untersuchen. Prägend für die Gestaltung der Lernumgebung in der Intervention ist dabei sicher auch die eigene Erfahrungen aus der Hochschuldidaktik, z.B. bezüglich der Gestaltung binnendifferenzierender Lernangebote.

Für den Einsatz der Systemmodellierung in der Lehre an Hochschulen für angewandte Wissenschaften konnten bereits erste Erfahrungen gesammelt werden: Im Rahmen eines interdisziplinären Veranstaltungsreihe entwickelten Projektgruppen aus Studierenden technischer und wirtschaftlicher Studiengänge Systemmodelle zu selbst gewählten Themen. Obgleich diese Arbeiten keinen expliziten Schwerpunkt auf Mehrperspektivität legten, war zu beobachten, dass Projektthemen durch die Studierenden meist unter Einbeziehung verschiedener Perspektiven bearbeitet wurden.

---

<sup>142</sup> Das Ausblenden und ggf. negative Bewerten von Wirtschaftlichkeit bezeichnet Winter (2009) als „fachlich-biologische“ Vorgehensweise (Winter 2009, S. 89).

<sup>143</sup> Obgleich die Aussagekraft des Modells heutzutage umstritten ist, bildet es doch eine Grundlage für ein Verständnis, das Wirtschaft in planetaren Grenzen betrachtet und das aus konzeptioneller Sicht das Systemverständnis der Forscherin prägte. Die heutigen Betrachtungen des Club of Rome gehen über die Diskussion von Simulationsergebnissen hinaus: Im 45-Jahres-Bericht des Club of Rome wird die heutige „volle Welt“, die u.a. bzgl. der Ressourcennutzung an die Grenzen ihrer Belastbarkeit kommt, der „leeren Welt“ gegenübergestellt, in der vor 200 Jahren die Grundprinzipien des heutigen Handelns, beispielsweise der Marktwirtschaft, entwickelt wurden. Gleichzeitig werden Handlungsoptionen aufgezeigt, um beispielsweise durch Kreislaufwirtschaft Optionen für ein nachhaltiges Wirtschaften aufzuzeigen (vgl. Weizsäcker und Wijkman 2017).

Diese Erstversuche sind aus Sicht der Forscherin vielversprechend, um die in der vorliegenden Forschungsarbeit formulierten Idee eines mehrperspektivisch orientierten Modellierungsangebots für Technikstudierende weiterzuentwickeln.

## 15 Ausblick und Fazit

Abschließend erfolgt ein Ausblick auf mögliche anschließende Forschungsthemen. Auch mögliche Lernpfade zum Einsatz von Systemmodellierung in einer konstruktivistischen Lernumgebung, die Mehrperspektivität fördert, werden skizziert. Das Kapitel schließt mit einem Fazit, in dem die Forschungsergebnisse zusammengefasst werden.

### 15.1 Impulse für weitere Forschungsthemen

In diesem Abschnitt sind Vorschläge für weitere Forschungsprojekte formuliert. Durch Folgestudien, zum Beispiel unter Kombination qualitativer und quantitativer Methoden, könnte die Generalisierbarkeit von Ergebnissen erhöht werden. Auch die Entwicklung eines theoretischen Rahmens zur Vernetzung von Systemmodellierung und Mehrperspektivität stellt einen möglichen Forschungsbereich dar. Zunächst werden Vorschläge und Anpassungsmöglichkeiten bezüglich des Samplings und der Datenanalyse formuliert:

#### 15.1.1 Studien mit erweiterten Samples oder erweiterter Datenerhebung

An der vorliegenden Studie nahmen, anders als ursprünglich erwartet, kaum Studierende mit Vorerfahrung im Bereich erneuerbarer Energien teil. So waren in der Gruppe IP17 keine Studierenden der Vertiefung Energietechnik vertreten.<sup>144</sup> Bei Vertreter\*innen anderer Studiengänge wurde nur in Einzelfällen explizite Vorkenntnisse oder Interesse an regenerativen Energien benannt. Andererseits legen verschiedene Studien nahe, dass, insbesondere in technischen Studienfächern, die Aktivierung von inhaltlichem Vorwissen die Wahl von Lösungsstrategien und somit das Modellierungsergebnis beeinflusst. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass inhaltliche und methodische Komponenten unterschiedlich salient wahrgenommen werden (vgl. Kapitel 4.4). Bei einem Sample, in dem mehr Teilnehmende methodische Vorkenntnisse im Bereich erneuerbarer Energien mitbrächten, wäre zu erwarten, dass ein einfacherer Zugang zur Beschäftigung mit Inhalten der Studie möglich wäre, was eine Vernetzung von Perspektiven fördern könnte. Dies könnte auch den Einsatz von Wirkungsdiagrammen begünstigen, da ein besserer Überblick über das Themenfeld die Identifikation von Modellgrößen auf

---

<sup>144</sup> Zwei Personen, für die diese Vertiefung zutraf, nahmen nur am ersten Termin der Studie teil. Ihre Daten flossen daher nicht in die Auswertung ein.

vergleichbarer Aggregationsebene und somit die plausible Vernetzung von Perspektiven vereinfachen dürfte.<sup>145</sup>

Andererseits könnten bei umfangreicherer Datenerfassung zu Vorkenntnissen bzw. Auswertung von Vorkenntnissen und Mehrperspektivität die Einflüsse der Informationsquelle (Allgemeinwissen oder Fachwissen), sowie die eingesetzten Lösungsstrategien weiter untersucht werden. In der vorliegenden Studie wurde in der Inhaltsanalyse über die Kategorie *Ursprung der Modellgrößen* gezeigt, dass die Nutzung von Allgemeinwissen oder spezifischen Fachwissen eine Heuristik im Umgang mit unvollständigen Informationen in Informationsdokumenten dazustellen scheint. Hier kann an die Studie von Johnson-Glauch et al. (2019) angeknüpft werden (vgl. Kapitel 4.4), welche Charakteristika verschiedener Darstellungsformen der Modellierung im Ingenieurwesen, inhaltliches Vorwissen und gewählte Lösungsheuristiken in Bezug zueinander setzt.

Der fachliche Schwerpunkt lag bei den Teilnehmenden der Studie im technisch-wirtschaftlichen Bereich. In der Typologie wurde aufgezeigt, dass bei der Modellierung von manchen Typen inhaltliches bzw. methodisches Wissen aus diesen Bereichen eingesetzt wurde. Für die empirisch ermittelte Typologie ist hierbei auf eine mögliche Verzerrung hinzuweisen: Die fachliche Vorprägung der Teilnehmenden im Bereich Wirtschaft und Technik führte zu einer häufigeren Wahl dieser Perspektiven bei der Modellierung. Dies spiegelt sich im Kategoriensystem wider: So wurden Wirtschaft und Technik häufiger codiert als Gesellschaft (vgl. Kapitel 8.4). Die Beschriftung der „perspektivischen Achse“ in der Typologie wurde daher auf die Vernetzung von Perspektiven bezogen (vgl. Kapitel 11). Trotzdem bündeln sich im Typus 2 ausschließlich Fälle mit wirtschaftlich-technischer Ausrichtung, die alle einen (Wirtschafts-)ingenieurwissenschaftlichen Studiengang studierten und die Hauptperspektive Wirtschaft mit einer technischen Nebenperspektive vernetzten. Die analytisch gebildeten Kategorien der vorliegenden Studie sind also in ihrer Gültigkeit als spezifisch für das vorliegende Sample einzuordnen. In einem Sample, in dem mehr Personen einen Bezug zu gesellschaftlichen oder umweltbezogenen Fragestellungen mitbrächten (z.B. durch einen höheren Anteil an Lehramtsstudierenden mit Mehrfächer-Studium), wäre eine häufigere Berücksichtigung gesellschaftsbezogener Themen in der Modellierung möglich. Erst mit einem solchen Sample könnte überprüft werden, ob die Ausprägung *Haupt- und Nebenperspektive* spezifisch für die Themenkombination Wirtschaft und Technik oder ob sie auch für andere Perspektivkombinationen empirisch nachweisbar ist.

---

<sup>145</sup> Diese Erkenntnis ist aus den Charakteristika von Typus 5 abgeleitet, bei dem die Herausforderung darin bestand, Modellgrößen verschiedener Perspektiven geeignet zu vernetzen.

### *15.1.2 Theoretische Konzepte zur Charakterisierung von Systemmodellierung und Mehrperspektivität*

Zwei theoretische Konzepte können bei der Beschreibung von Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen zur Förderung von Mehrperspektivität eingesetzt werden:

#### *15.1.2.1 Mentale Modelle als Konzept zur Beschreibung von Mehrperspektivität in der Systemmodellierung*

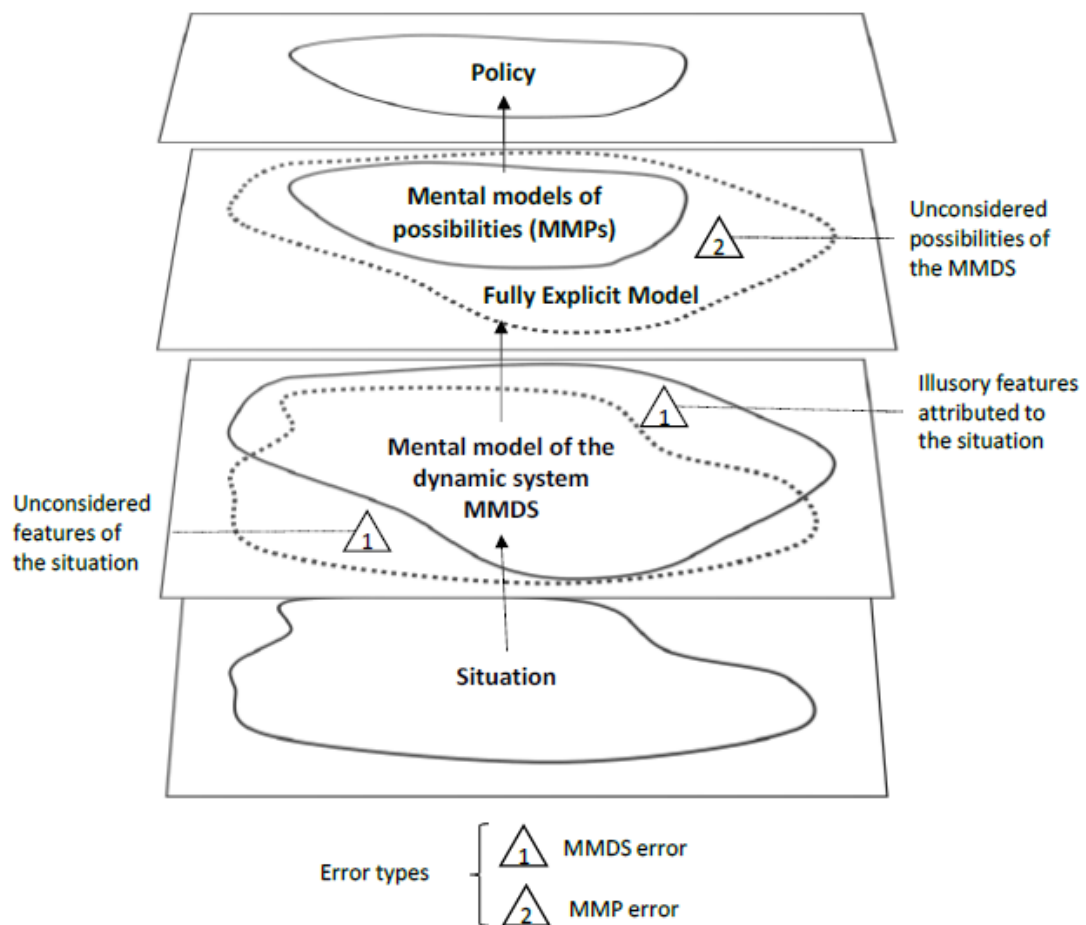
Wirkungsdiagramme können als mentale Modelle von Systemen verstanden werden (vgl. Kapitel 4). Wirkungsdiagramme stellen einerseits ein externes Modell eines dynamischen Systems dar, können andererseits im Bereich der Erkenntnisvermittlung aber auch als Abbildung des internen Modells und somit des individuellen Verständnisses vom betrachteten System verstanden werden (vgl. Kapitel 4.1). Berücksichtigt man die Dynamik, die mit Wirkungsdiagrammen abgebildet wird, so kann die Veränderung der Modellierungskennnisse über eine Veränderung der Wirkungsdiagramme als „mentales Modelle dynamischer Systeme“ (Mental Models of Dynamic Systems (MMDS)) verstanden werden, welche die von den Lernenden wahrgenommene Systemstruktur abbilden (vgl. Schaffernicht et al. 2021, S. 2). Hierbei sind Fehlvorstellungen möglich, etwa wenn Modellgrenzen zu weit oder zu eng gezogen werden. Abbildung 15-1 stellt in der zweiten Ebene von unten dar, dass das MMDS unberücksichtigte oder hinzugefügte Eigenschaften einer Situation beinhalten kann.

Vorbereitend auf Entscheidungssituationen kann das Konzept des mentalen Modells der Möglichkeiten (Mental Models of Possibilities, (MMP), nach Ragni und Johnson-Laird 2020, in Schaffernicht 2021, S. 2ff.) verwendet werden: Es repräsentiert das mentale Modell der Entscheidungssituation bildhaft. Die berücksichtigten Entscheidungsmöglichkeiten werden dabei durch die Eigenschaften bestimmt, welche die Modellierer\*innen in ihren MMDS identifiziert haben. Ein Teil des MMDS wird bei anstehenden Entscheidungsprozessen ins mentale Modell der Möglichkeiten übertragen, um Entscheidungen zu begründen (vgl. Abbildung 15-1, 2. Ebene von oben)<sup>146</sup>.

Für die Vernetzung von Mehrperspektivität und Systemmodellierung kann das Modell aus Abbildung 15-1 einen Ausgangspunkt bilden, um die Bedeutung verschiedener Perspektiven für die Modellierung und anschließende Entscheidungssituationen zu erklären: Erst, wenn die Lernenden eine Perspektive (beispielsweise Umwelteinflüsse) in ihr MMDS integrieren, wird diese Perspektive als Möglichkeit für

---

<sup>146</sup> Dies wiederum ist konsistent mit den Eigenschaften von Modellen nach Stachowiak und der allgemeinen Modellsituation im Kontext didaktischer Situationen, in denen Diaphorie und Analogie von Modellen entscheidend für die Eignung von Modellen sind (vgl. Kapitel 2.2 und 4.1).



**Abbildung 15-1:** Verhältnis zwischen Situation, mentalem Modell des dynamischen Systems, sowie Mentalen Modellen der Möglichkeiten (MMP) und Strategien (Schaffernicht et al. 2021, S. 9).

Handlungsentscheidungen wahrgenommen. Bleibt eine Perspektive unberücksichtigt, so entspricht dies der fehlenden Abbildung von Eigenschaften der Situation bzw. unberücksichtigten Einflüssen im Modell der Möglichkeiten.

Ogleich das Konzept des „mentalen Modells“ unterschiedlich definiert wird (vgl. Kapitel 4.2) und die Verlässlichkeit von Modellen, die durch Teilnehmende selbst erstellt werden, je nach wissenschaftlichem Ansatz hinterfragt werden kann (vgl. Arango Aramburo et al. 2012), scheint das Konzept mentaler Modelle für die Beschreibung von Lernprozessen in der Systemmodellierung als theoretischer Rahmen interessant und könnte, über bisherige Fokussierungen auf das Verständnis des Systems hinausgehend, auch auf die Abbildung verschiedener Perspektiven übertragen werden. Der Ansatz ist darüber hinaus auch dann einsetzbar, wenn Systemmodellierung als transdisziplinäres Darstellungsformat genutzt werden soll, da explizit der Bezug zu Handlungs- und Entscheidungssituationen dargestellt ist (vgl. Abbildung 15-1, oberste Ebene).

*Lesh Übersetzungsmodell*

Mit dem Lesh Translation Modell (LTM) wird eine Übersetzung zwischen Darstellungsformen als zentraler Bestandteil einer konstruktivistischen Ingenieurdidaktik formuliert (vgl. Kapitel 4.4.4). Besonders in Gruppen mit unterschiedlichen Vorkenntnissen in der (System-)Modellierung kann das Lesh Translation Modell dazu dienen, die Übersetzung zwischen Darstellungsformen zu beschreiben, beispielsweise in der Vorstellung von Modellierungsergebnissen. Andererseits kann das Modell auch dazu verwendet werden, für Einzelpersonen die Vorkenntnisse in der Modellierung darzustellen und Wechselwirkungen zwischen Darstellungsformen aufzuzeigen.

Abbildung 15-2 illustriert, wie Wirkungsdiagramme ergänzend zu Darstellungsformen wie Tabellen, Graphen oder Gleichungen in das Modell integriert werden könnten. Diese Darstellung könnte zudem durch die verschiedenen Formen der Systemmodellierung zwischen qualitativen und quantitativen Darstellungsformen erweitert werden (vgl. Kapitel 3.2).

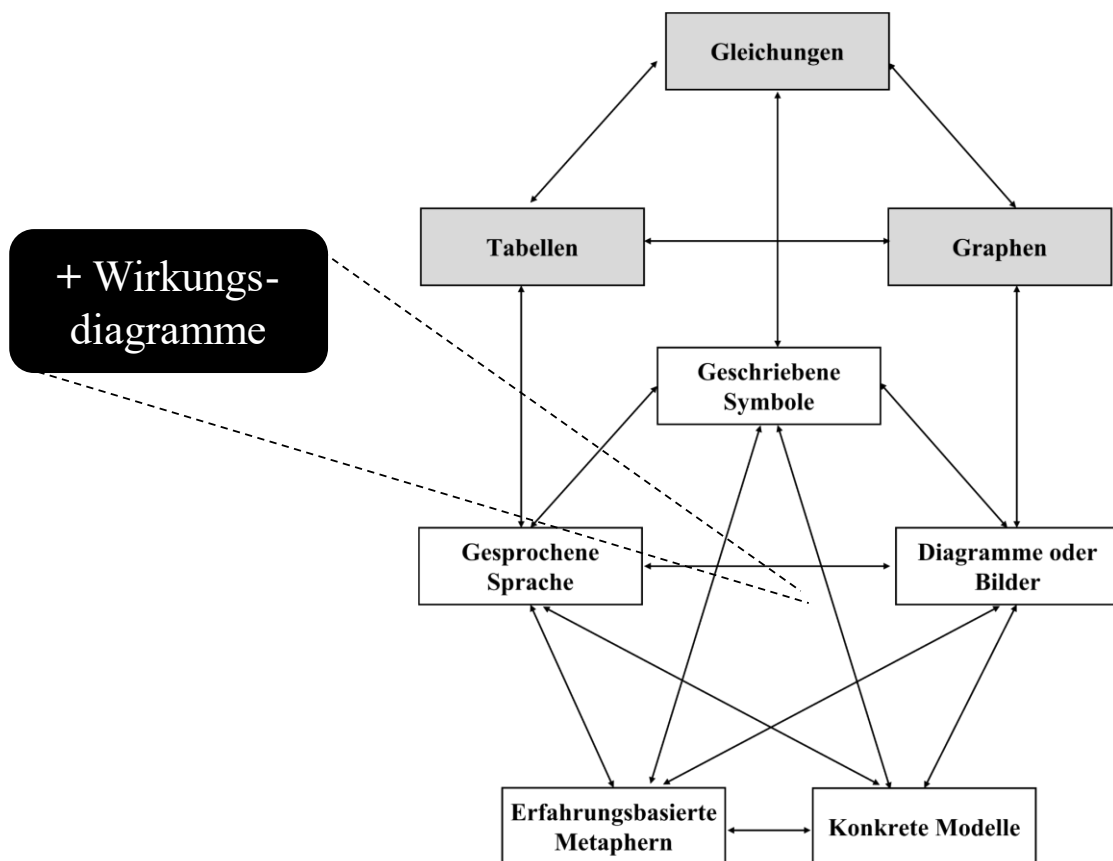


Abbildung 15-2: Erweitertes Lesh Translation Modell mit Einbindung von Wirkungsdiagrammen. (verändert nach Lesh und Doerr 2003, S. 12).



Bezüglich unterschiedlicher methodischer Vorkenntnisse der Teilnehmenden kann das Konzept der *representational fluency* (vgl. Kapitel 4.4.5) aufgegriffen werden, um verschiedene Präkonzeptionen zur Systemmodellierung mit der Modellierung über Wirkungsdiagramme zu vergleichen. Dieses Konzept stellt gleichzeitig eine mögliche Grundlage dar, um Kommunikation und Reflexion über Systemmodelle in einem konstruktivistischen Lernsetting zu untersuchen und verschiedene Darstellungsformen einzuordnen. Sowohl detaillierte Einzelfallstudien, als auch Ergebnisse aus Mixed Method Studien könnten dazu beitragen, für Einzelfälle oder mit Bezug auf bestimmte Studiengruppen charakteristische Muster aufzuzeigen.

### *15.1.3 Offene Lernumgebung mit Wirkungsdiagrammen gestalten*

Eine offene, konstruktivistisch geprägte Lernumgebung erfordert, dass Vorstellungen der Lernenden berücksichtigt und gefördert werden. Um das in der vorliegenden Studie eingesetzte Konzept einer freien Themenwahl und einer Modellierung inklusive Austausch zwischen den Teilnehmenden als Prozess weiterzuentwickeln, sind zunächst die „Präkonzepte, Überzeugungen und Einstellungen“ (Oberrauch et al. 2015, S. 23) von Beteiligten weiter zu erforschen und daraus die in Kapitel 4.4.1 dargestellten Prinzipien einer konstruktivistischen Lernumgebung weiterzuentwickeln.

Die vorliegende empirische Studie zeigt bereits, dass der Modellierungsprozess in der Intervention sich zwischen Personen unterscheidet und dies bei den Randtypen teilweise über Vorkenntnissen zu erklären ist.

Es kann also beispielsweise zur Erforschung von Vorkenntnissen nachfolgenden Aspekten gefragt werden.

- Warum setzen einige Teilnehmende in der gesamten Studie keine Wirkungsdiagramme ein?
- Wieso modellieren methodisch gut qualifizierte Personen im Themenfeld, das ihnen fachlich vertraut ist?
- Inwiefern fördern oder hemmen Vorkenntnisse in quantitativer Modellierung und das damit einhergehende Verständnis von Modellen den Einsatz von Wirkungsdiagrammen, sowie die Bereitschaft mehrperspektivisch zu modellieren?

Aus den Zentraltypen und der dort aufgezeigten Prozesshaftigkeit des Lernens im Rahmen der Interaktion zwischen den Teilnehmenden lassen sich folgende Fragen ableiten:

- Welche Vorkenntnisse werden durch Interaktionsprozesse zwischen Teilnehmenden aktiviert?

- Welche Einflüsse begünstigen aus Sicht der Lernenden die Vernetzung von Systemmodellierung und Mehrperspektivität?

Bevor Ansätze zur Gestaltung möglicher Lernpfade aufgezeigt werden, sei im Folgenden noch einmal das Konzept der Transdisziplinarität als Vermittler zwischen Wissenschaft und Gesellschaft für technische Studiengänge erwähnt, um das Potenzial von Wirkungsdiagrammen, im Kontext von Transdisziplinarität als Darstellungsmittel vorzuschlagen (vgl. Oberrauch et al. 2015, S. 22). In diesem Zusammenhang wird auch der Einfluss verschiedener (Fach-)Kulturen kurz thematisiert, der sich auch in der Studie manifestierte.

### *15.1.3.1 Wirkungsdiagramme als transdisziplinäre Darstellungsform*

Die Bedeutung der Förderung von Mehrperspektivität, beispielsweise durch Systemmodellierung, kann über den Qualifikationsrahmen für deutsche Hochschulabschlüsse begründet werden (vgl. Abbildung 6-1, KMK 2017, 2005). Besonders bezüglich transdisziplinärer Modellierungsansätze sind bisher nur wenige Vorschläge formuliert, wie diese in das Curriculum integriert werden können (vgl. z.B. Pätzold 2019). Die Einführung von transdisziplinären Lehrinhalten mit Kriterien wie modelltheoretischer Vielfalt und Flexibilität (vgl. Ropohl 2005, S.30) statt eines kontrastierenden Nebeneinander-Unterrichtens der Modellierungsansätze verschiedener Disziplinen erfordert jedoch auch auf institutioneller Ebene ein Bewusstsein für den Mehrwert solcher Ansätze. Es überschreitet den Umfang dieser Studie, aufzuzeigen oder zu bewerten, inwiefern eine transdisziplinäre Systemsicht in einzelnen Studienbereichen oder Studiengangsformen den Qualifikationszielen entspricht. Jedoch scheint es im Sinne übergeordneter Ziele, beispielsweise eines nachhaltigen Handelns lohnend (vgl. ZSL Baden-Württemberg 2016; Rieß 2013), sich intensiver mit Ausprägungen von Mehrperspektivität bei Studierenden technischer Studiengänge zu befassen, die Ursachen für diese Ausprägungen zu untersuchen und die Chancen der Weiterentwicklung hin zu einem transdisziplinären Verständnis zu erforschen.

Auf institutioneller Ebene könnte beispielsweise der Einfluss von Fachkulturen mit ihren „Wahrnehmungs-, Denk-, Wertungs- und Handlungsmuster“ (Liebau und Huber 1985, S. 315) betrachtet werden. Auch die individuelle Sozialisierung und dadurch vermittelte Werte können einen Einfluss auf das Grundverständnis zur Mehrperspektivität haben haben. In Aussagen der Teilnehmenden aus der Studie zeichnen sich verschiedene Weltbilder ab, die mit Systemmodellierung offengelegt oder beeinflusst werden könnten (vgl. Ropohl 2005, S. 30):

- **„Kleiner Mann“:** *IDM17-B395* „Da in den meisten Fällen die energiepolitischen Entscheidungen der "normale" Bürger trägt & dieser die Veränderungen bezahlt, trifft mich

*dies an meinen eigenen Geldbeutel. Und was bringt es mir, wenn ich eine grüne Energiepolitik verfolge & das der Kleine Mann nicht finanzieren kann?“*

- **Technisch geprägter Mensch:** MSE16-E744: „Bewusst hab ich jetzt mal die Technologie an die zweite Stelle gesetzt, weil wir eigentlich immer technologisch unterwegs sind und ich hab mal gedacht ich guck das mal von der anderen Seite an hauptsächlich. Dennoch als technisch angehauchter Mensch kann man die Technik immer nie außer Acht lassen, deswegen hab ich das auch noch mit dabei.[...]“ (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 2)
- **Rational handelnder Mensch:** IDM16-W041: [...] Nächste Voraussetzung. Ich geh davon aus, dass der Mensch rational ist, rational wirtschaftlich. Das heißt nur weil er irgendwie die Dinge schön findet, was für die Umwelt tun will, wird er keine Anlage bauen. [...]“ (IDM16\_Gruppe1\_Fokus, Pos. 104)

Auch in System Dynamics Publikationen zur Bildungsforschung wurde kürzlich angeregt, kulturelle Aspekte und Vorstellungen zu untersuchen (vgl. Qi und Gonzalez 2019). Die Vernetzung von Perspektivität mit kulturellen Aspekten scheint also ein interessantes Betrachtungsfeld, das mit qualitativen Ansätzen der Bildungsforschung exploriert werden könnte.

Die Autorin sieht die Modellierung mit Wirkungsdiagrammen als mögliche Darstellungsform für eine transdisziplinäre Betrachtung technischer Systeme, da sie leicht erlernbar und flexibel einsetzbar ist, dynamische und perspektivische Komplexität abbilden können und methodisch einen Übergang zu weiteren Modellierungsformen erlauben. In der vorliegenden Studie wurde gezeigt, dass Lernsituationen die Berücksichtigung verschiedener Perspektiven und eine Weiterentwicklung der Systembetrachtung hin zu einer mehrperspektivischen Systemmodellierung über Wirkungsdiagramme realisierbar ist.

Um Systemmodellierung in einem Anwendungskontext zu verorten, der möglicherweise die transdisziplinäre Zielsetzung einer „Tauglichkeit für die Praxis“ (Ropohl 2005, S. 30) erfüllt, beispielsweise indem ein Modellierungszyklus bis hin zu einer Einführung von Veränderungen in ein Realsystem umgesetzt wird (vgl. Kapitel 3.2.1), ist sicherlich ein umfangreicheres Veranstaltungskonzept nötig, als in der vorliegenden Studie realisiert werden konnte.<sup>147</sup>

Im Folgenden werden, als Basis zur Weiterentwicklung von Lerneinheiten zu Systemmodellierung und Mehrperspektivität, mögliche Lernpfade für die verschiedenen in der Studie identifizierten Typen aufgezeigt und in einem „morphologischen Kasten“ (vgl. Kaufmann 2021, S. 163ff.) zusammengeführt.

## 15.2 Lernpfade

Im Folgenden wird ein Versuch unternommen, den Einsatz der Systemmodellierung zur Förderung von Mehrperspektivität im Rahmen einer Lehrveranstaltung aufzuzeigen.

---

<sup>147</sup> Ein Beispiel, wie der Praxisbezug von klassischen Testaufgaben erhöht werden könnte, ist in Anhang B.2.2 formuliert.

Hierzu werden Lernpfade zum Einsatz von Systemmodellierung für die zentralen Fälle aus Typus 3 und 4, sowie die Randtypen vorgeschlagen. Während bei den Randtypen der Fokus recht klar im Überwinden der in der Typologie beschriebenen Barrieren bzw. Herausforderungen liegt, wird für die Zentraltypen ein Lernumfeld vorgeschlagen, in welchem Modellierung methodisch und mit Blick auf Mehrperspektivität weiterentwickelt werden kann. Die Überlegungen beziehen sich auf die Konzeption einer Lehreinheit mit einem Umfang von mindestens einer Semesterwochenstunde.

### *15.2.1 Lernpfade für Randtypen*

Beim *disziplinär geprägten Modellierer* (Typus 2) sind Methoden der dynamischen Modellbildung als Vorkenntnisse präsent. In der Systemmodellierung der Intervention spiegeln sich die Vorstellung von Modellen, wie sie im technischen bzw. wirtschaftlichen Studium geprägt wurden, wider. Das Modell als Ergebnis des Modellierungsprozesses steht bei Typus 2 in den Gesprächssituationen im Vordergrund, wobei auf methodische Exaktheit geachtet und eine wirtschaftlich-technische Systemsicht eingenommen wird.

Für Typus 2 empfiehlt es sich, Systemmodellierung im Kontext von Mehrperspektivität zu fördern und, angesichts der fortgeschrittenen methodischen Kenntnisse, den Übergang zu einer reflexive Betrachtungsebene zur Modellierung zu initiieren. Hierzu könnten die Funktionen und Limitierungen von Modellen im Allgemeinen und von Systemmodellen im Speziellen thematisiert werden, beispielsweise in dem verhaltensbeschreibende und verhaltensklärende Modelle miteinander verglichen werden oder Wirkungsdiagramme mit ihrem Potenzial zum Einsatz in Kommunikationssituationen vorgestellt werden (vgl. Kapitel 3.1).

Um den „blinden Fleck“ des Typus 2, nämlich die Verengung auf die eigene Fachperspektive, aufzuzeigen, kann damit begonnen werden, die Existenz eines perspektivisch geprägten Systemverständnisses aufzuzeigen: Beispielsweise kann die wirtschaftlich-technische Perspektive auf erneuerbare Energien einer gesellschaftlich-ökologischen Perspektive gegenübergestellt werden, indem ein Austausch mit Personen anderer fachlicher Schwerpunkte unterstützt wird oder Modelle bzw. Informationen bereitgestellt werden, die verschiedene Perspektiven gegenüberstellen. So können die Weiterentwicklung der Systemsicht über eine Detailkomplexität hinaus gefördert und ein erweiterter Raum mit Anwendungsfeldern für Modellierung erschlossen werden (vgl. Schaffernicht et al. 2021).

Methodisch kann auf die Modellierungserfahrung der Teilnehmenden aufgebaut und die Modellierung mit Wirkungsdiagrammen im Spektrum der Darstellungsformen von Systemmodellierung verortet werden, von denen Typus 2 bereits quantitative

Darstellungsformen kennt. So wird einerseits die Expertise der Vertreter\*innen von Typus 2 in der Systemmodellierung bestätigt und andererseits die Einsatzformen und die Aussagekraft verschiedener Darstellungsformen gegenübergestellt.<sup>148</sup>

Der Austausch mit anderen Modellierer\*innen fördert zudem die kommunikative Komponente als Teil der Qualifikationsziele für Hochschulabsolvent\*innen und erweitert die methodischen und fachlichen Kompetenzen, die der Typus 2 bezüglich der Modellierung bereits mitbringt.<sup>149</sup>

Der *Novizen der Systemmodellierung* (Typus 5) umfasst in der Studie Studierende aus bildungswissenschaftlichen Studiengängen. Die Präkonzeptionen dieser Personen finden sich eher im Bereich von Konzeptdarstellungen, linearen oder zeitdiskreten Beschreibungen dynamischer Systeme. Eine Offenheit für Fragestellungen mit einer gesellschaftlichen oder umweltbezogenen Komponente ist vorhanden, jedoch ist es für die Teilnehmenden herausfordernd, Zusammenhänge hierzu in ihrer Wechselwirkung über Wirkungsdiagramme abzubilden.

Bei Typus 5 besteht das primäre Qualifikationsziel darin, methodische Kenntnisse in der Systemmodellierung zu erwerben und den Umgang mit zeitabhängigen Systemen einzuüben.

Hier scheint ein Unterrichtsschema in Anlehnung an den Kompetenzrahmen von Schaffernicht und Groesser (2016) geeignet: Zum Erlernen der Methodik wird zunächst von einfachen Beispielsystemen ausgegangen, in denen perspektivische Komplexität unberücksichtigt bleibt.<sup>150</sup> Für diese Gruppe sollte ein Interaktionsraum geschaffen werden, in dem sich Lernende über den Modellierungsprozess austauschen, um das methodische Vorgehen der Modellierung zu vergleichen und weiterzuentwickeln. Gleichzeitig wird so die Kommunikationsfähigkeit als wichtige Kompetenz in lehrenden Berufen gefördert und das Interesse an Mehrperspektivität in der Interaktion weiterentwickelt.

Ausgehend von einfachen Modellen wie Archetypen kann ein Übergang zur Erstellung eigener Modelle in mehrperspektivischen Situationen dadurch unterstützt werden, dass Fragestellungen bzw. thematische Informationen für eine ausgewählte Anzahl von Perspektiven vorgegeben und für die Modellierung eine Aggregationsebene abgestimmt wird.

---

<sup>148</sup> Im Konzept der *representational fluency* wird hierbei der Wechsel zwischen Darstellungsformen gefördert, was für diesen Typus auch bei neuen oder unvollständigen Informationen in „fachfremden“ Perspektiven gefördert wird.

<sup>149</sup> Die Herausforderung in der Umsetzung entsprechender Lehrveranstaltungen kann in der Einbettung eines solchen Ansatzes in die Fachkultur des (Wirtschafts-)Ingenieurwesens liegen, aus denen alle Vertreter\*innen des Typus 2 stammen.

<sup>150</sup> Damit wird auch auf die bei Typus 4 beschriebene Heuristik der Komplexitätsreduktion durch Reduktion der Anzahl von Perspektiven Bezug genommen.

Mit diesem Konzept wird bei Typus 5 zunächst die grundlegende Methodik der Systemmodellierung eingeübt. Sie kann anschließend schrittweise unter Einbindung zusätzlicher Perspektiven erweitert werden oder im Vergleich zu anderen Modellierungsformen betrachtet werden kann.

Die Gegenüberstellung von Typus 2 und Typus 5 zeigt, dass ein Einsatz von Systemmodellierung zur Förderung von Mehrperspektivität die Vorkenntnisse der Teilnehmenden berücksichtigen sollte: So sollte der Zugang zur Methodik der Modellierung bei Anfänger\*innen zunächst fokussiert erfolgen, während methodisch Geübte nach kurzer Einführung die Darstellungsmittel einsetzen.

Dies gilt neben Typus 2 insbesondere auch für den *mehrperspektivisch methodensicheren Modellierer* (Typus 1), dem sowohl eine mehrperspektivische Systembetrachtung als auch die Methodik der Systemmodellierung keine Schwierigkeiten bereitet. Hier kann ein fortgeschrittenes Qualifikationsziel in der Förderung der Reflexion über Modelle bestehen: Dies kann bedeuten, die Kontingenz von Modellen zu erkennen und zu diskutieren, sowie neues Modellierungswissen mit bekannten Methoden zu vernetzen. Angesichts des sicheren Umgangs mit der Aufgabenstellung in der Interventionsstudie kann Typus 1 sich gut in Gesprächssituationen einbringen, in denen ein Austausch über Modelle verschiedener Personen erfolgt.

Zusammenfassend können bei den Typen 1 und 2 die Entwicklung und Reflexion bestehender Methodenkompetenzen, sowie besonders bei Typus 2 eine Erweiterung des Horizonts hin zu einer öko-sozio-technologischen Systemsicht gefördert werden, während bei Typus 5 zunächst grundlegende Prinzipien der Systemmodellierung mit Bezug auf dynamische Systeme eingeübt werden sollten.

### 15.2.2 Lernpfade für Zentraltypen

Unter den Zentraltypen 3 und 4 (*themenzentriert Methodenlernende* und *geleitet mehrperspektivisch Lernende*) befinden sich Personen aus Ingenieur-, Wirtschaftsingenieur- und bildungswissenschaftlichen Studiengängen. Mit unterschiedlichen Eingangsvoraussetzungen erreichen die Vertreter\*innen dieser zwei Typen in der Intervention einen Kenntnisstand in der Systemmodellierung, mit dem im Posttest Wirkungsdiagramme korrekt eingesetzt werden. Im Modell (Typus 3) bzw. während der Modellvorstellung (Typus 4) ist eine Offenheit für die Betrachtung mehrerer Perspektiven erkennbar.

Anders als bei den Typen 2 und 5 sind also keine methodischen oder perspektivischen „Barrieren“ zu erkennen, die strukturell überwunden werden sollten: Der Bereich der Zentraltypen innerhalb der Typologie scheint somit prinzipiell erreichbar für die verschiedenen Gruppen an Technikstudierenden, was sich auch über die

Zusammensetzung dieser Typen aus Vertreter\*innen verschiedener Studiengangsgruppen bestätigt.

Für die beiden Zentraltypen wird daher ein gemeinsamer Lernpfad formuliert. Da für beide Typen die kommunikative Funktion von Modellen positive Einflüsse zeigt, empfiehlt sich ein Kursdesign, das klassische Elemente der Systemmodellierung mit kommunikativen Elementen vernetzt.

Die methodische Einführung in die Systemmodellierung kann, ähnlich wie in der Studie, zunächst Beispiele mit Archetypen umfassen. Werden diese Beispiele in Gruppen bearbeitet, so kann einerseits Vorwissen aktiviert und mit anderen Personen ausgetauscht werden. Andererseits werden so Struktur-Verhaltens-Zusammenhänge als Prinzipien der Systemmodellierung, sowie die Darstellungsformen der Modellierung eingeübt. Durch eine Beschäftigung mit Rückkopplungen und deren Einfluss auf die zeitliche Entwicklung von Systemen kann insbesondere bei Vertreter\*innen von Typus 4 eine Weiterentwicklung von der Vorstellung linearer Wirkungsketten hin zu Modellen, die Rückwirkungen berücksichtigen, gefördert werden. Die Erkenntnisse von Fischer et al. (2016) deuten darauf hin, dass der verbale Austausch das Konzeptverständnis auch dann fördern kann, wenn ein Umgang mit anderen Darstellungsformen noch herausfordernd ist (vgl. Kapitel 4.3.1).

Die Leitfrage der Modellierung kann bei den Zentraltypen, ähnlich wie in der Studie, individuell gewählt werden. Die Modellierung sollte prozesshaft erfolgen und in mehreren Phasen unterteilt werden, die jeweils über einer Überprüfung des Zwischenstandes vernetzt werden können: Beispielsweise kann in einer Feedbackrunde in Kleingruppen besprochen werden, ob die Grenzen im Modell mit der Leitfrage kompatibel sind, ob die ursprünglich ausgewählten Perspektiven berücksichtigt wurden, oder ob die Modellierungsmethodik korrekt eingesetzt wurde. Auch Herausforderungen bei der Modellierung, die Teilnehmende dieses Typus selbst formulieren, können explizit thematisiert und als Kommunikationsanreize im Modellierungsprozess genutzt werden.<sup>151</sup>

In einer Vorstellungsrunde können, ähnlich wie in der Intervention, Modelle präsentiert und verglichen werden. Dabei kann neben dem fertigen Modell als Ergebnis auch der Modellierungsprozess selbst thematisiert werden. Als weitere Stufe wäre die Überführung der Erkenntnisse aus Individualmodellen in ein gemeinsames

---

<sup>151</sup> In der Studie wurden subjektiv empfundene Herausforderungen von einigen Teilnehmenden selbstständig geäußert, während andere Teilnehmende, u.a. aus Typus 4, die methodischen Herausforderungen nicht benannten.

Modell denkbar, um so in einem *Group Model* Perspektiven zu vernetzen und dabei auf die Veränderlichkeit und Kontingenz individueller Modelle hinzuweisen.<sup>152</sup>

Der skizzierte Kursverlauf erlaubt, die verschiedenen Dimensionen der Qualifikationsziele gemäß KMK zu vereinen (vgl. Kapitel 4.5): Zur Förderung eines kritischen Verständnisses für Methoden, getroffene Entscheidungen im Modellierungsprozess oder einer Abschätzung potenzieller Folgen können, z.B. in einer Nachbesprechung, folgende Fragen adressiert werden:

- Woher stammen die Informationen für Ihr Modell?
- Welche Aussagekraft besitzt das Modell Ihrer Meinung nach? Welche Aussagen können mit dem Modell nicht getroffen werden?
- Wozu kann Ihr Modell eingesetzt werden? Um sich über Zusammenhänge zu informieren? Um über Zusammenhänge zu kommunizieren?
- Welche Veränderungen könnten Sie in Ihrem Modell vornehmen? Inhaltlich? Methodisch?
- Bildet Ihr Modell bzw. Ihre Leitfrage die Perspektive bestimmter Akteure oder Akteursgruppen ab?
- Auf welcher Ebene erfolgt die Betrachtung Ihres Modells? Auf gesellschaftlicher, institutionaler oder individueller Ebene?
- Inwiefern haben Sie methodische Vorkenntnisse eingesetzt?

### 15.2.3 Entwurf eines Baukastens für Systemmodellierung zur Förderung von Mehrperspektivität

Die Studienergebnisse und vorangegangenen Überlegungen zeigen, dass die Erstellung von Modellen, integriert in einen kommunikativen Kontext das Vernetzen verschiedener Perspektiven unterstützen kann. Die für die Zentraltypen vorgeschlagenen Elemente des Lernpfades spiegeln dabei die Idee eines Lernumfelds wider, das individuelle Lernprozesse ermöglicht. Da die Typologie und ihre Typen selbst nur ein Modell zur Charakterisierung der spezifischen Teilnehmergruppen der Studie sind, kann das Auftreten von homogenen Gruppen mit Vertreter\*innen eines Typus in realen Lehrsituationen nicht erwartet werden. Stattdessen sind verschiedene Ausprägungen von Merkmalen innerhalb einer Studiengangsguppe wahrscheinlich. Die vorgeschlagenen Lernpfade sind also in geeigneter Form zu kombinieren.

---

<sup>152</sup> Beispielsweise könnten für das Thema der vorliegenden Studie „In welcher Form können und sollen Biogasanlagen zur Energieversorgung der Zukunft beitragen“ die Teilmodelle verschiedener Personen zusammengeführt werden. Hier ist sowohl eine Vereinigung verschiedener Modelle hin zu einer allgemeineren Systemsicht, als auch der Schnitt über verschiedene Modelle hin zu einer Schwerpunktsetzung auf einzelnen Aspekte bzw. Perspektiven denkbar.



In Tabelle 15-1 sind anhand eines morphologischen Kastens Elemente aufgelistet, aus denen eine Lehrveranstaltung im Umfang von einer Semesterwochenstunde zum Themenfeld Systemmodellierung und Mehrperspektivität zusammengesetzt werden könnte. Die Vorschläge sind dabei allgemein gehalten, um für Gruppen mit verschiedenem fachlichen Hintergrund und Vorkenntnissen eingesetzt werden zu können. Sie von links mit zunehmend anspruchsvolleren Aufgaben sortiert.

Eine grundlegende Entscheidung bei der Gestaltung einer Lehrveranstaltung betrifft die Wahl des Themenfeldes: Während das Thema der vorliegenden Studie recht spezifisch aus dem Bereich erneuerbarer Energien gewählt war, kann Systemmodellierung auch zu Themen eingesetzt werden, die für die Beteiligten zum Allgemeinwissen bzw. zum allgemeinen Erfahrungshorizont gehören und wenig spezifische Vorkenntnisse benötigen. Dies kann den Austausch über verschiedene Perspektiven vereinfachen, da es den Beteiligten auch ohne fachliche Vorkenntnisse und ohne aktive Informationsphase das Erschließen struktureller Zusammenhänge und somit eine Beteiligung ermöglicht. Mögliche Themenfelder für eine mehrperspektivische Betrachtung sind:<sup>153</sup>

- Mobilität der Zukunft
- Digitalisierung und Arbeitsmarkt
- Corona-Pandemie
- Klimawandel

Es kann dabei nach Systemelementen oder Prozessen gesucht werden, die inhärent mehrperspektivisch<sup>154</sup> betrachtet werden können. Diese Elemente können in die Gestaltung der Veranstaltungsunterlagen eingebunden werden.

Zusammengefasst lassen sich Entwicklungsstränge für Lehreinheit in der Systemmodellierung zur Förderung von Mehrperspektivität zwischen zwei Polen einordnen: Für methodisch fortgeschrittene Modellierer\*innen kann der kontingente Charakter von Modellen hervorgehoben werden. Sie können Metawissen „über Modelle“ erwerben, z.B. indem sie die Gültigkeit von Modellen reflektieren und sich der aktiven Rolle als Urheber\*innen von Modellen bewusst werden.

---

<sup>153</sup> Die ersten zwei Themen lassen sich an der Schnittstelle technischer Studiengänge thematisieren. Der Klimawandel und die Modellierung von Epidemien sind bekannte Einsatzbereiche von System Dynamics Modellen. Für Infektionssituationen wird das SIR-Modell (Susceptible – Infected – Recovered) verwendet, das bei Isolations- bzw. und Quarantänemaßnahmen zum SEIR-Modell (Susceptible – Exposed – Infected – Recovered) – Modell erweitert wird (vgl. Struben 2020). Szenarien des Klimawandels werden mithilfe von System Dynamics Modellen beispielsweise über den Enroads-Klimasimulator untersucht und für Weiterbildungszwecke eingesetzt (vgl. Climate Interactive 2022; Serman et al. 2012).

<sup>154</sup> In der vorliegenden Studie erwies sich die Systemgröße „Substrate“ als Größe, die „mehrperspektivisch salient“ erschien und in den Informationstexten verschiedener Perspektiven eingebunden war (vgl. Kapitel 9.3).

**Tabelle 15-1: Morphologischer Kasten zur Gestaltung von Lehrveranstaltungen im Bereich Mehrperspektivität und Systemmodellierung.**

<b>Modellierungs-methodik</b>	Schrittweises Erlernen der Methodik der Wirkungsdiagramm-Modellierung	Analyse von Archetypen und Suche nach Anwendungsbeispielen	Synthese von Modellen zu gegebenem Modellsystem	Synthese von Modellen zu individueller Leitfrage
<b>Information über Perspektiven</b>	Informationsmaterial über eine Perspektive bereitstellen	Bearbeitung von mehreren Perspektiven bei gegebenen Informationsquellen	Individuelle Auswahl von Perspektiven aus gegebenen Quellen	Freie Recherche zu Themenfeld mit individueller Festlegung der Perspektiven
<b>Interaktion (bzgl. Mehrperspektivität)</b>	Perspektiven eines vorgegebenen Themenfelds identifizieren	individuelle Perspektiven / Perspektiven der eigenen Fachdisziplin reflektieren („Blinde Flecken“ identifizieren)	Bedeutung der Perspektiven, die nicht dem eigenen Profil entsprechen, diskutieren =>öko-sozio-technologische Systemsicht entwickeln	Akteure und Akteursgruppen identifizieren und ihre Betrachtungsebene (Mikro-, Meso- und Metaebene) vergleichen
<b>Interaktion (bzgl. Methodik)</b>	gemeinsam Archetypen beschreiben	eigenes Modell vorstellen / zusammen mit anderen weiterentwickeln	gemeinsam Grundmodell zu einer Problemstellung entwerfen	Systembeschreibung in verschiedenen Modellierungsformen vergleichen

Auch können Vorteile und Grenzen bekannter (fachspezifischer) Modellierungsformen aufgezeigt werden und mit Bezug auf eine multiperspektivische Systemsicht öko-sozio-technologisches Systemwissen entwickelt werden (vgl. Ropohl 1999, S. 215).

Für Anfänger\*innen der Systemmodellierung wiederum sollte zunächst das Grundverständnis für die zeitliche Veränderlichkeit von Systemen durch Systemmodellierung gefördert werden. Dabei sind Methodenkenntnisse, die zunächst über die Analyse vorgegebener Modelle erworben werden, die Grundlage, um in eine konstruktivistisch geprägte Lernumgebung mit multiperspektivischem Zugang überzugehen.

Für Studierende technischer Studiengänge, deren Eigenschaften den Typen der *themenzentriert Methodenlernenden* bzw. der *geleitet mehrperspektivisch Lernenden* ähneln, kann ein konstruktivistisches Lernsetting den Zugang zu einem mehrperspektivischen Systemverständnis durch Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen unterstützen. Das Vernetzen von Inhalten und Perspektiven, wie es in vorliegenden Studie in der Systemmodellierung erprobt wurde, korrespondiert mit den Konzepten der Vernetzung, Perspektivbetrachtung, aber auch der Darstellung von Unterschieden, welche die moderat konstruktivistischen Erwachsenenbildung vorsieht (vgl. Siebert 2012, S. 60). Gleichzeitig fördern kommunikative Elemente Kompetenzbereiche, die in den KMK Qualifikationszielen für Hochschulabschlüsse gefordert werden (vgl. KMK 2017).

Bezüglich der Frage, welchen Beitrag Systemmodellierung zur mehrperspektivischen Betrachtung komplexer Systeme leisten kann, lässt sich also festhalten, dass gemäß den Erkenntnissen der vorliegenden Studie ein erstes Potenzial hierfür aufgezeigt werden konnte, wobei verschiedene Ausprägungsformen über eine Typologie charakterisiert und über Sekundärdaten kontextualisiert wurden. Die Erforschung von Zusammenhängen, die den Lernprozess der Systemmodellierung über qualitative Forschungsansätze erklären, aber auch Mixed-Method-Studien mit größeren Samples, stellen neben der Entwicklung theoretischer Modelle zur Vernetzung von Systemmodellierung und Mehrperspektivität und der Gestaltung von Lernumgebungen Vorschläge für weitere Forschungsthemen dar.

### **15.3 Fazit**

Ziel der vorliegende Studie war eine Erstbetrachtung des Einsatzes von Wirkungsdiagrammen zur Darstellung von zeitlicher Dynamik und Mehrperspektivität im System Energiewende bei Studierenden verschiedener technischer Studiengänge. Hierbei sollte in einem explorativen Ansatz untersucht werden, in welcher Form Systemmodellierung einen Beitrag zur mehrperspektivischen Betrachtung komplexer Systeme leisten kann.

Das Lernsetting rund um das Themenfeld „Erneuerbarer Energien“ mit Schwerpunkt Biogasanlagen war so gestaltet, dass Teilnehmende individuelle Fragestellungen formulieren und mit Wirkungsdiagrammen Lösungsansätze zur Beantwortung ihrer individuellen Frage entwickeln konnten, die einander vorgestellt wurden. Der Prozess der Modellierung und des Austauschs unter Teilnehmer\*innen wurde durch die Erhebung verschiedener Datentypen erfasst.

In der Auswertung wurden in einer qualitative Inhaltsanalyse Kategorien identifiziert, mit denen sich Systemmodellierung und Perspektivität bei den Teilnehmenden

charakterisieren ließen. Als empirisch begründetes Auswertungsmodell diente eine Typologie, in der fünf Typen identifiziert wurden.

Während die Typen bezüglich ihrer Merkmalsausprägungen homogen sind, weisen sie als Typen einer polythetischen Typologie doch Unterschiede hinsichtlich sekundärer Merkmalsausprägungen auf. So wurde gezeigt, dass Aussagen zum Umgang mit Systemmodellierung und Mehrperspektivität im betrachteten Sample nicht pauschal in Bezug auf studiengangsspezifische Merkmale wie Vorkenntnisse in der Systemmodellierung getroffen werden konnten, sondern dass der Einzelfall eine geeignete Ebene zur Entwicklung einer Typologie darstellte.

In der Charakterisierung der Typen wurde herausgearbeitet, dass sich Zentraltypen und Randtypen in der Typologie unterscheiden lassen. Hierbei ist bei Vertreter\*innen der Zentraltypen ein geringerer Einfluss von sozio-demographischen Einflussgrößen zu erkennen als bei den Randtypen. Die Zentraltypen der *themenzentriert Methodenlernenden* und *geleitet mehrperspektivisch Lernenden* erlernten im Lernsetting der Studie den Einsatz von Systemmodellierung (teilweise schrittweise) und waren Mehrperspektivität gegenüber aufgeschlossen. Hier konnte bei Teilnehmer\*innen mit verschiedenen Studienhintergründen ein Entwicklungsprozess beschrieben werden, der insbesondere aufzeigte, dass die aktive Modellierung als Prozess und der Austausch über Modelle den Zugang zu Mehrperspektivität fördern können.

Für die Randtypen wiederum, die im Merkmalsraum mindestens eine extremere Merkmalsausprägung aufwiesen, konnten mithilfe der erhobenen Daten in der Zusammenhangsanalyse mögliche Erklärungen für die Leistung in der Intervention bzw. den Herausforderungen im Modellierungsprozess formuliert werden: Bei den *Novizen der Systemmodellierung* ist fehlende Erfahrung in der Betrachtung dynamischer Systemen ein Erklärungsansatz für die Nichtnutzung von Wirkungsdiagrammen. *Disziplinär geprägte Modellierer* bringen durch ihr Studienprofil bereits Vorerfahrung in der (quantitativ geprägten) Systemmodellierung mit, und untersuchen ein zu modellierendes System dabei aus einer Perspektive, die dem eigenen Studienprofil entspricht. *Mehrperspektivisch methodensichere Modellierer* wiederum kombinieren Vorkenntnisse und Interesse an der Systemmodellierung mit einem multiperspektivischen Blick auf komplexe Systeme, so dass Systemmodellierung mit Wirkungsdiagrammen ihre mehrperspektivische Systembetrachtung im Themenfeld Energiewende gut unterstützt.

Die Studie kann mit ihrem qualitativen Forschungsdesign nur erste Erkenntnisse bereitstellen, die als Ausgangspunkt für die weitere Erforschung des Themenfeldes dienen können.

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass Systemmodellierung sich prinzipiell zur Förderung von Mehrperspektivität bei einer breiten Gruppe Technikstudierender eignet, und somit eine Modellierung „nach außen“, die verschiedene Perspektiven integriert, unterstützen kann. Hierbei wurde mit dem eingesetzten Studiendesign gezeigt, dass ein Lernformat, welches eigenständige Modellierung und den Austausch zwischen Teilnehmer\*innen über den Modellierungsprozess unterstützt, für diesen Lernprozess für viele Teilnehmer\*innen förderlich scheint. Ein solches Lernsetting könnte auch allgemeine Qualifikationsziele für Studierende technischer Studiengänge fördern, beispielsweise indem die „Fähigkeit zur Problemlösung auch in neuen und unvertrauten Situationen an[zu]wenden, die in einem breiteren oder multidisziplinären Zusammenhang mit ihrem Studienfach stehen“ (KMK 2017, S. 8) und dabei weitere Handlungskompetenzen, wie den Umgang mit unvollständigen oder begrenzten Informationen, oder eine situationsbezogene kritische Reflexion, aber auch kommunikative Kompetenzen gestärkt werden (vgl. KMK 2017, S. 8, KMK 2005, S.3ff.).

## 16 Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich bei dieser Arbeit inspiriert, begleitet und unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meinen Betreuern Prof. Dr. Lars Windelband und Prof. Dr. Uwe Faßhauer, die mit ihren konstruktiven Vorschlägen die Bearbeitung eines inhaltlich komplexen Themas ermöglicht haben.

Bei den Beschäftigten der PHSG, die Promovierende betreuen, bedanke ich mich für die hervorragende Unterstützung des Promotionsprozesses.

Einen besonderer Dank möchte ich an Prof. Dr.-Ing. Axel Löffler von der Hochschule Aalen richten, dem ich den Zugang zur System Dynamics Modellierung verdanke.

Allen Studierenden, die an der Studie mitgewirkt haben, sei es als Teilnehmende, oder als Zweitcodierende, gilt ein großes Dankeschön.

Auch bei den Kolleg\*innen aus Wissenschaft und Lehre, die durch ihre kollegiale Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, bedanke ich mich herzlich.

Ein großes Dankeschön geht auch an die, die mich in der Freizeit begleiten und für Ausgleich sorgen, insbesondere an André.

Der größte Dank jedoch gilt meinen Eltern und Geschwistern, die immer für mich da sind und mich in meinen Vorhaben unterstützen.

## 17 Literaturverzeichnis

Agentur für Erneuerbare Energien (2020): Eigentümerstruktur Biogasanlagen. Online verfügbar unter <https://unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/eigentuemstruktur-erneuerbare-energien>, zuletzt aktualisiert 12/2020, zuletzt geprüft am 26.02.2022.

Altman, Naomi; Krzywinski, Martin (2015): Association, correlation and causation. In: *Nature Methods* 12, S. 899–900. DOI: 10.1038/nmeth.3587.

Anderson, Lorin W. (2014): A taxonomy for learning, teaching, and assessing. A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Harlow: Pearson.

Arango Aramburo, Santiago; Castañeda Acevedo, Jaime Andrés; Olaya Morales, Yris (2012): Laboratory experiments in the system dynamics field. In: *System Dynamics Review* 28 (1), S. 94–106. DOI: 10.1002/sdr.472.

Ball, L. J.; St. Evans, J.B.T.; Dennis, I. (1994): Cognitive processes in engineering design: a longitudinal study. In: *Ergonomics* 37 (11), S. 1753–1786.

Barraba, Vincent P. (1994): The Role of Models in Managerial Decision Making - Never Say the Model Says. In: Wallace, William A. (Hg.): *Ethics in modeling*. 1. Auflage. Oxford: Pergamon Books, S. 145–160.

Barzel, Bärbel; Biehler, Rolf; Greefrath, Gilbert (2018): Mathematik in Schule und Hochschule – Wie groß ist die Lücke und wie gehen wir mit ihr um? In: *GDM Mitteilungen* 104, S. 28–30.

Bass, Frank M. (1969): A New Product Growth for Model Consumer Durables. In: *Management Science* 15 (5), S. 215–227. DOI: 10.1287/mnsc.15.5.215.

Bawden, Richard (2010): Messy Issues, Worldviews and Systemic Competencies. In: Reynolds, Martin, Holwell, Sue (Hg.): *Systems Approaches to Managing Change. A Practical Guide*. London: Springer.

Becker, Peter (2008): Beschäftigungs- und Sozialpolitik. In: Wessels, Wolfgang und Weidenfeld, Werner (Hg.): *Jahrbuch der Europäischen Integration 2007*. 1. Auflage. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, S. 137–144.

Becker, Peter (2011): Aufstieg und Krise der deutschen Stromkonzerne: zugleich ein Beitrag zur Entwicklung des Energierechts. Bochum: Ponte Press.

Bennewitz, Hedda (2013): Entwicklungslinien und Situationen des qualitativen Forschungsansatzes in der Erziehungswissenschaft. In: Friebertshäuser, Barbara; Langer, Antje und Prengel, Annedore (Hg.): *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft*. 4., durchgesehene Aufl. Weinheim: Beltz, S. 43–59.

Berelson, Bernard (1952): *Content Analysis in Communication Research*. Glencoe: Free Press.

Bertalanffy, Ludwig von (1968): *General Systems Theory*. New York: Braziller.

Bertalanffy, Ludwig von (1972): Zu einer allgemeinen Systemlehre (1949). In: Bleicher, Knut (Hg.): *Organisation als System*. Wiesbaden: Gabler, S. 31–45.

Bertschy Kaderli, Franziska (2007): Vernetztes Denken in einer Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Interventionsstudie zur Förderung vernetzten Denkens bei Schülerinnen und Schülern der

1. und 2. Primarschulstufe. Universität Bern, Bern. Philosophisch-humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern.

Biogasrat+ (2016a): Stellungnahme zu dem Referentenentwurf des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zum Entwurf eines Gesetzes zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien (EEG 2016). Online verfügbar unter

[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Stellungnahmen/Stellungnahmen-EEG-2016/biogasrat.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Stellungnahmen/Stellungnahmen-EEG-2016/biogasrat.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt aktualisiert 28.04.2016, zuletzt geprüft am 26.02.2022.

Biogasrat+ (2016b): EEG2016-Ausschreibung für Biomasse muss jetzt geregelt werden. Online verfügbar unter <https://www.biogasrat.de/2016/05/12/eeg-2016-ausschreibung-fuer-biomasse-muss-jetzt-geregelt-werden/>, zuletzt aktualisiert 12.05.2016, zuletzt geprüft am 26.02.2022.

BMBF (Hg.) (1998): Berufsbildungsbericht. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Bonn.

BMBF (2021a): Bildung für nachhaltige Entwicklung bis 2030. Online verfügbar unter <https://www.bne-portal.de/bne/de/nationaler-aktionsplan/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung-bis-2030/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung-bis-2030.html>, zuletzt aktualisiert 2021, zuletzt geprüft am 16.06.2022.

BMBF (Hg.) (2021b): Berufsbildungsbericht 2021. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Bonn.

BMU (Hg.) (2011): Der Weg zur Energie der Zukunft - sicher, bezahlbar und umweltfreundlich. Eckpunktepapier der Bundesregierung zur Energiewende. Online verfügbar unter [https://www.bmu.de/energiewende/beschuesse\\_und\\_massnahmen/doc/47465.php](https://www.bmu.de/energiewende/beschuesse_und_massnahmen/doc/47465.php), zuletzt aktualisiert 2011, zuletzt geprüft am 02.11.2016.

Booth Sweeney, Linda; Serman, John D. (2000): Bath tub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. In: *System Dynamics Review* 16 (4), S. 249–286. DOI: 10.1002/sdr.198.

Bossel, Hartmut (1994): Modellbildung und Simulation. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

Bossel, Hartmut (2004): Systeme, Dynamik, Simulation. Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Norderstedt: Books on Demand.

Bräutigam, Julia (2014): Systemisches Denken im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Konstruktion und Validierung eines Messinstruments zur Evaluation einer Unterrichtseinheit. Dissertation. Pädagogische Hochschule Freiburg, Freiburg. Pädagogische Psychologie. Online verfügbar unter <http://phfr.bsz-bw.de/files/412/DissertationBraeutigamJulia2014.pdf>, zuletzt geprüft am 01.04.2016.

Buddensiek, Wilfried; Kaiser, Franz-Josef; Kaminski, Hans (1980): Grundprobleme des Modelldenkens im sozio-ökonomischen Unterricht. In: Stachowiak, Herbert (Hg.): Modelle und Modelldenken im Unterricht. Anwendungen der allgemeinen Modelltheorie auf die Unterrichtspraxis. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 92–122.

Bünner, Martin (2019): Optimierung für Wirtschaftsingenieure. Wiesbaden: Springer Gabler.

Candra, Dodiak Ika; Hartmann, Kilian; Nelles, Michael (2019): Von einer fluktuierenden zur verlässlichen Stromerzeugung. In: *Magazin für die Energiewirtschaft* (4), S. 2–4.

Chestnut, H. (1965): System Engineering Tools. New York, London, Sydney: John Wiley and Sons.



- Churchman, C. W. (1968): *The Systems Approach*. New York: Dell.
- Climate Interactive (Hg.) (2022): *The En-Roads Climate Solutions Simulator*. Online verfügbar unter <https://www.climateinteractive.org/en-roads/>, zuletzt aktualisiert 2022, zuletzt geprüft am 19.08.2022.
- Cronin, Matthew A.; Gonzalez, Cleotilde (2007): Understanding the building blocks of dynamic systems. In: *System Dynamics Review* 23 (1), S. 1–17. DOI: 10.1002/sdr.356.
- Cronin, Matthew A.; Gonzalez, Cleotilde; Sterman, John D. (2009): Why don't well-educated adults understand accumulation? A challenge to researchers, educators, and citizens. In: *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 108 (1), S. 116–130. DOI: 10.1016/j.obhdp.2008.03.003.
- Daley, Barbara J. (1999): Novice to Expert: An Exploration of How Professionals Learn. In: *Adult Education Quarterly* 49 (4), S. 133–147. DOI: 10.1177/074171369904900401.
- Diefes-Dux, H. A.; Moore, T.; Zawojewski, J.; Imbrie, P. K.; Follman, D.: A framework for posing open-ended engineering problems: model-eliciting activities. In: Diefes-Dux, Heidi A.; Zawojewski, Judith S.; Imbrie, P. K. und Follman, Deborah (Hg.): *A framework for posing open-ended engineering problems: model-eliciting activities*: IEEE, S. 455–460.
- DIFF (Hg.) (1979): *Technik - Ansätze für eine Didaktik des Lernbereichs Technik*. Fernstudiengang Arbeitslehre. Studienbrief zum Fachgebiet Technik. Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen. Tübingen.
- Dittes, Frank-Michael (2012): *Komplexität. Warum die Bahn nie pünktlich ist*. Berlin, Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Vieweg.
- Döhler, Susanne (Hg.) (2013): *Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven*. FNR/KTBL-Kongress vom 10. bis 11. September 2013 in Kassel. Darmstadt: KTBL (501).
- Doyle, James K.; Ford, David N. (1998): Mental models concepts for system dynamics research. In: *System Dynamics Review* 14 (1), S. 3–29. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1727(199821)14:1<3::AID-SDR140>3.0.CO;2-K.
- Dresing, Thorsten; Pehl, Thorsten (2018): *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. Marburg: Eigenverlag.
- Dreyfus, Stuart E.; Dreyfus, Hubert L. (1980): *A Five-Stage Model of the Mental Activities Involved in Directed Skill Acquisition*. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center.
- Dudenredaktion (o.D.): *salient*. Online verfügbar unter <https://www.duden.de/rechtschreibung/salient>, zuletzt aktualisiert o.D., zuletzt geprüft am 15.06.2022.
- Dutke, Stephan (1994): *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Eder, Barbara (Hg.) (2012): *Biogas-Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit, Umwelt*. Staufen bei Freiburg: Ökobuch.
- Egner, Heike; Ratter, Beate M.W. (2008): Wozu Systemtheorie(n). In: Egner, Heike; Ratter, Beate M.W. und Dikau, Richard (Hg.): *Umwelt als System - System als Umwelt?* München: oekom, S. 9–22.
- Egner, Heike; Ratter, Beate M.W.; Dikau, Richard (Hg.) (2008): *Umwelt als System - System als Umwelt?* München: oekom.

- Ehrlenspiel, Klaus (2014): Kostengünstig entwickeln und konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklungen. 7. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.
- Ehrlenspiel, Klaus; Meerkamm, Harald (2013): Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 5. Auflage. München: Hanser.
- Elmasry, Aly; Größler, Andreas (2018): Supply chain modularity in system dynamics. In: *System Dynamics Review* 34 (3), S. 462–476. DOI: 10.1002/sdr.1610.
- Eschenhagen, Dieter; Kattmann, Ulrich; Rodi, Dieter (1996): Fachdidaktik Biologie. 3. Aufl. Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2010): Leitfaden Biogas.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2013): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Baden-Württemberg. Unter Mitarbeit von A. Butz, M. Heirmann, C. Herrmann und et al. FNR. Rostock.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2022): FNR - Biogas. Online verfügbar unter <https://biogas.fnr.de/>, zuletzt aktualisiert 2022, zuletzt geprüft am 28.08.2022.
- Fachverband Biogas (Hg.) (2015-2016): Biogas Journal.
- Feld, Timm (2011): Zur Relation von „Aufwand“ und „Bedeutung“ interorganisationaler Netzwerkteilnahmen für die Leistungserbringung von Weiterbildungseinrichtungen – eine Typenbildung (4), S. 15–25.
- Felder, Richard M.; Woods, Donald R.; Stice, James E.; Rugarcia, Armando (2000): The Future of Engineering Education II. Teaching Methods that work. In: *Chemical engineering education* 34.
- Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (2013): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8., vollst. überarb. Aufl. 2013. Berlin Heidelberg: Springer.
- Fischer, Helen; Degen, Christina; Funke, Joachim (2015): Improving Stock-Flow Reasoning With Verbal Formats. In: *Simulation & Gaming* 46 (3-4), S. 255–269. DOI: 10.1177/1046878114565058.
- Fischer, Helen; Gonzalez, Cleotilde (2016): Making Sense of Dynamic Systems: How Our Understanding of Stocks and Flows Depends on a Global Perspective. In: *Cognitive science* 40 (2), S. 496–512. DOI: 10.1111/cogs.12239.
- Fischer, Roland (1984): Offene Mathematik und Visualisierung. In: *mathematica didactica* 7, S. 14–20.
- Flick, Uwe (Hg.) (2009): Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung. 2. Auflage. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (55694).
- Flick, Uwe (2014): Gütekriterien qualitativer Sozialforschung. In: Baur, Nina und Blasius, Jörg (Hg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden: Springer VS, S. 411–423.
- Fokkinga, Brigit; Bleijenbergh, Inge; Vennix, Jac (2009): Group model building evaluation in single cases: a method to assess changes in mental models. In: *System Dynamics Conference* 27.
- Ford, Andrew (2010): Modeling the environment. 2. Aufl. Washington, DC: Island Press.
- Ford, David N.; Sterman, John D. (1998): Expert knowledge elicitation to improve formal and mental models. In: *System Dynamics Review* 14 (4), S. 309–340.
- Früh, Werner (Hg.) (2004): Inhaltsanalyse. Theorie und Praxis. 5. Auflage. Konstanz: UVK.

- Geels, Frank W. (2004): From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. In: *Research Policy* 33 (6-7), S. 897–920. DOI: 10.1016/j.respol.2004.01.015.
- Geertz, Clifford (1973): *The interpretation of Cultures - Selected Essays*. New York: Basic Books.
- Gehlen, Arnold (1981): *Anthropologische Forschung*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Geißel, Bernd; Gschwendtner, Tobias (Hg.) (2018): *Wirksamer Technikunterricht*. 1. Aufl. Bielefeld: wbv.
- Gilbert, Anne-Francoise (2021): Zum Verhältnis von Gender und Technik. Weg zu einer gendersensiblen technischen Bildung. In: Schumann, Svantje und Müller, Marc (Hg.): *Technische Bildung. Stimmen aus Forschung, Lehre und Praxis*. Münster New York: Waxmann, S. 69–88.
- Goll, Joachim; Dausmann, Manfred (2014): *C als erste Programmiersprache*. 8. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Gomez, Peter (1981): *Modelle und Methoden des systemorientierten Managements*. Eine Einführung.
- Grosser, Stefan N.; Schaffernicht, Martin (2012): Mental models of dynamic systems: taking stock and looking ahead. In: *System Dynamics Review* 28 (1), S. 46–68. DOI: 10.1002/sdr.476.
- Gropengießer, Harald; Marohn, Annette (2018). In: Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka und Schecker, Horst (Hg.): *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 49–67.
- Größler, Andreas (2004): A content and process view on bounded rationality in system dynamics. In: *Systems Research and Behavioral Science* 21 (4), S. 319–330. DOI: 10.1002/sres.646.
- Grunenberg, Heiko (2001): *Die Qualität qualitativer Forschung. Eine Metaanalyse erziehungs- und sozialwissenschaftlicher Forschungsarbeiten*. Online verfügbar unter <https://www.maxqda.de/download/grunenberg.pdf>, zuletzt aktualisiert 18.10.2011, zuletzt geprüft am 11.08.2022.
- Gschwendtner, Tobias; Geißel, Bernd (2021): *Wirksamkeit von Technikunterricht*. In: Reinhardt, Volker; Rehm, Markus und Wilhelm, Markus (Hg.): *Wirksamer Fachunterricht. Eine metaanalytische Betrachtung von Expertisen aus 17 Schulfächern*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH, S. 167–183.
- Haas, Reinhard; Loew, Thomas (Hg.) (2012): *Die Auswirkungen der Energiewende auf die Strommärkte und die Rentabilität von konventionellen Kraftwerken*. Online verfügbar unter <https://www.4sustainability.de/wp-content/uploads/2021/06/Haas-Loew-Auswirkungen-Energiewende-auf-Energiemaerkte2012.pdf>, zuletzt aktualisiert 10/2012, zuletzt geprüft am 16.06.2022.
- Hall, Arthur D.; Fagen, Robert E. (1956): Definition of System. In: *General Systems* 1 (18), S. 18–28.
- Hanft, Anke; Zawacki-Richter, Olaf; Gierke, Willi B. (Hg.) (2015): *Herausforderung Heterogenität beim Übergang in die Hochschule*. Münster, New York: Waxmann.
- Hauff, Volker (Hg.) (1987): *Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*. Greven: Eggenkamp.
- Hayward, John; Jeffs, Rebecca A.; Howells, Leanne, Evans, Kathryn S. (2014): *Model Building with Soft Variables: A Case Study on Riots*. Proceedings of the 32nd International System Dynamics Conference. Albany, NY.

- Hegarty, Mary (2014): Multimedia Learning and the Development of Mental Models. In: Meyer, Richard E. (Hg.): *The Cambridge Handbook of Multimedia*. Cambridge: Cambridge University Press, S. 673–702.
- Hering, Ekbert; Martin, Rolf; Stohrer, Martin (2021): *Physik für Ingenieure*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hering, Linda; Schmidt, Robert J. (2014): Einzelfallanalyse. In: Baur, Nina und Blasius, Jörg (Hg.): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer VS, S. 529–541.
- Hildebrandt, Kristin (2006): *Die Wirkung systemischer Darstellungsformen und multiperspektivischer Wissensrepräsentationen auf das Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufs*. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel. Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät.
- Hochschule Aalen (Hg.) (2013): Studien- und Prüfungsordnung für Masterstudiengänge der Hochschule Aalen (SPO 30). §53 Studiengang Industrial Management. Online verfügbar unter <https://www.hs-aalen.de/uploads/mediapool/media/file/5824/idm-master-spo30.pdf>, zuletzt aktualisiert 15.07.2013, zuletzt geprüft am 02.01.2020.
- Hochschule Aalen (Hg.) (2017a): Studien- und Prüfungsordnung für den Master-Studiengang Mechatronik / Systems Engineering der Hochschule Aalen und der Hochschule Esslingen (reguläre Studiendauer / Teilzeitstudiengang) vom 1. März 2017, zuletzt aktualisiert 21.07.2018, zuletzt geprüft am 02.01.2020.
- Hochschule Aalen (Hg.) (2017b): Masterstudienangebot Industrial Management. Online verfügbar unter [https://www.hs-aalen.de/uploads/mediapool/media/file/9565/Flyer\\_Industrial\\_Management\\_Master.pdf](https://www.hs-aalen.de/uploads/mediapool/media/file/9565/Flyer_Industrial_Management_Master.pdf), zuletzt aktualisiert 28.07.2017, zuletzt geprüft am 02.01.2020.
- Hochschule Aalen (Hg.) (2019): Studien- und Prüfungsordnung für den Bachelor-Studiengang Ingenieurpädagogik der Hochschule Aalen (Teil BA-TB-GBA-33). Online verfügbar unter <https://www.hs-aalen.de/pages/studien-und-pruefungsordnungen-satzungen#body-accordion-9171-0-accordion-9172-8-accordion-30743-1>, zuletzt aktualisiert 25.02.2019, zuletzt geprüft am 12.04.2020.
- Hochschule Aalen (Hg.) (2021): Modulübersicht Ingenieurpädagogik - Fertigungstechnik GF. SPO 32 - Mathematik 2, zuletzt aktualisiert 13.10.2021, zuletzt geprüft am 12.02.2022.
- Imboden, Dieter; Koch, Sabine (2003): *Systemanalyse. Einführung in die mathematische Modellierung natürlicher Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ison, Ray (2010): Introducing Systems practice. In: Reynolds, Martin, Holwell, Sue (Hg.): *Systems Approaches to Managing Change. A Practical Guide*. London: Springer, S. 14–33.
- Johnson-Glauch, Nicole; Choi, Dong San; Herman, Geoffrey (2020): How engineering students use domain knowledge when problem-solving using different visual representations. In: *Journal of Engineering Education* 109 (3), S. 443–469. DOI: 10.1002/jee.20348.
- Johnson-Glauch, Nicole; Herman, Geoffrey L. (2019): Engineering representations guide student problem-solving in statics. In: *Journal of Engineering Education* 108 (2), S. 220–247. DOI: 10.1002/jee.20258.
- Johnson-Laird, Philip N. (1983): *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Kainz, Daniel; Ossimitz, Günther (2002): Can students learn stock-flow-thinking? an empirical investigation. *Proceedings of the 2002 International System Dynamics Conference*. System Dynamics Society. Albany, NY.

- Käpplinger, Bernd (2011): Typologien. In: *REPORT - Zeitschrift für Weiterbildungsforschung* (1), S. 23–35.
- Kaufmann, Traute (2021): Morphologischer Kasten. In: Kaufmann, Traute (Hg.): *Strategiewerkzeuge aus der Praxis. Analyse und Beurteilung der strategischen Ausgangslage*. 1. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 163–175.
- Kelle, Udo; Kluge, Susann (2010): Vom Einzelfall zum Typus. Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung. 2., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kimchi, R.; Palmer, S. E. (1982): Form and texture in hierarchically constructed patterns. In: *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* 8 (4), S. 521–535. DOI: 10.1037//0096-1523.8.4.521.
- Klieme, Eckhard; Maichle, Ulla (1994): Modellbildung und Simulation im Unterricht der Sekundarstufe I. Auswertungen von Unterrichtsversuchen mit dem Modellbildungssystem MODUS. Bonn.
- Kluge, Susann (2000): Empirisch begründete Typenbildung in der qualitativen Sozialforschung. *Forum Qualitative Sozialforschung*. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0001145>, zuletzt aktualisiert 7/2008, zuletzt geprüft am 28.01.2016.
- KMK (Hg.) (2005): *Qualifikationsrahmen für deutsche Hochschulabschlüsse*. Hochschulrektorenkonferenz, Kultusministerkonferenz und Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- KMK (Hg.) (2017): *Qualifikationsrahmen für deutsche Hochschulabschlüsse*. Kultusministerkonferenz.
- Konstantin, Panos (2013): *Praxisbuch Energiewirtschaft. Energieumwandlung, -Transport und -beschaffung Im Liberalisierten Markt*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kriz, Jürgen; Lisch, Ralph (1988): *Methodenlexikon*. Weinheim, München: PVU.
- KTBL (Hg.) (2013): *Faustzahlen Biogas*. 3. Ausgabe. Tabellenwerk. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.
- Kuckartz, Udo (2010): *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*. 3., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kuckartz, Udo (2018): *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. 4. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Kuckartz, Udo; Rädiker, Stefan (2019): *Analyzing Qualitative Data with MAXQDA. Text, Audio, and Video*. Cham: Springer International Publishing.
- Kufeld, Walter (Hg.) (2013): *Klimawandel und Nutzung von regenerativen Energien als Herausforderungen für die Raumordnung. Arbeitsbereiche der ARL 7*. Hannover: Verlag der ARL.
- Landis, J. Richard.; Koch, Gary Grove (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. In: *Biometrics* 33 (1), S. 159–174.
- Lane, David C. (1992): Modelling as learning: A consultancy methodology for enhancing learning in management teams. In: *European Journal of Operational Research* 59 (1), S. 64–84. DOI: 10.1016/0377-2217(92)90007-V.
- Lane, David C. (2000): Should System Dynamics be Described as a 'Hard' or 'Deterministic' Systems Approach? In: *Systems Research and Behavioural Science* 17 (3-22).

- Lehner, Martin (2019): Didaktik. Bern: Haupt.
- Leibniz University IT Services (LUIS) (Hg.) (2018): Matlab / Simulink. 8. Aufl. Hannover.
- Lesh, Richard; Galbraith, Peter L.; Haines, Christopher R.; Hurford, Andrew (Hg.) (2010): Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies. Boston MA: Springer US.
- Lesh, Richard A.; Doerr, Helen M. (2003): Foundations of a models and modeling perspective on mathematics teaching, learning, and problem solving. In: Lesh, Richard A. und Doerr, Helen M. (Hg.): Beyond constructivism. Models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching. Mahwah, New Jersey: Routledge (Teaching and Learning in Science), S. 3–34.
- Lincoln, Yvonna S.; Guba, Egon G. (1985): Naturalistic inquiry. Newbury Park: Sage.
- Lunze, Jan (2013): Regelungstechnik 1. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mause, Karsten (2018): Subventionen/Subventionierung. In: Voigt, Rüdiger (Hg.): Handbuch Staat. Wiesbaden: Vieweg, S. 1261–1270.
- MAXQDA (Hg.): MAXQDA 2020 Manual. Wie unterstützt MAXQDA die Datenanalyse im Team? Online verfügbar unter <https://www.maxqda.de/download/manuals/MAX2020-Online-Manual-Complete-DE.pdf>, zuletzt geprüft am 08.07.2022.
- Mayring, Philipp (2003): Qualitative Inhaltsanalyse. 8. Auflage. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Meadows, Dennis L.; Behrens, William W.; Meadows, Donella H.; Naill, Roger F.; Zahn Erich K. O. (1974): Dynamics of growth in a finite world. Cambridge, MA: Wright-Allen Press.
- Meadows, Donella; Meadows, Dennis; Randers, Jørgen; Behrens, William W. (1972): The limits to growth. New York: Universe Books.
- Meadows, Donella H.; Wright, Diana (2009): Thinking in systems. A primer. London: Earthscan.
- Meadows, Donella H.; Wright, Diana; Randers, Jørgen; Institute, Sustainability (2019): Die Grenzen des Denkens. Wie wir sie mit System erkennen und überwinden können.
- Meinefeld, Werner (1997): "Ex-ante Hypothesen in der Qualitativen Sozialforschung: zwischen „fehl am Platz“ und „unverzichtbar“. In: *Zeitschrift für Soziologie* 26 (1), S. 22–34.
- Melo, Thiago S.; Belderrain, Mischel Carmen Neyra; Pegetti, Ana Lúcia (2016): A system dynamics approach for aiding effects-based operations planning. XVIII Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa. São José dos Campos.
- Merten, Klaus (1995): Inhaltsanalyse: Einführung in Theorie, Methode und Praxis. 2., verbesserte Auflage. Opladen: Westdeutscher Verlage.
- Mikula, Regina (2008): Die Mehrperspektivität des Lernens in der Verortung und Rekonstruktion biografischer Veränderungsprozesse. In: Egger, Rudolf (Hg.): Orte des Lernens. Lernwelten und ihre biographische Aneignung. 1. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 59–72.
- Modestou, Modestina; Gagatsis, Athanasios (2007): Students' Improper Proportional Reasoning: A result of the epistemological obstacle of linearity. In: *Educational Psychology* 27, S. 75–92. DOI: 10.1080/01443410601061462.
- Moore, Tamara J.; Miller, Ronald L.; Lesh, Richard A.; Stohlmann, Micah S.; Kim, Young Rae (2013): Modeling in Engineering: The Role of Representational Fluency in Students' Conceptual Understanding. In: *Journal of Engineering Education* 102 (1), S. 141–178. DOI: 10.1002/jee.20004.

- Moore, Tamara J.; Selcen Guzey, S.; Roehrig, Gillian H.; Lesh, Richard A. (2018): Representational Fluency: A Means for Students to Develop STEM Literacy. In: Daniel, Kristy L. (Hg.): Towards a framework for representational competence in science education, Bd. 11. Cham: Springer (SpringerLink Bücher, 11), S. 13–30.
- Moser, Simon (1973): Kritik der traditionellen Technikphilosophie. In: Lenk, Hans und Moser, Simon (Hg.): *Techne, Technik, Technologie. Philosophische Perspektiven*. 1. Auflage. Pullach bei München: Verlag Dokumentation (Uni-Taschenbücher Philosophie 289), S. 11–73.
- Moss, Jarrod; Kotovsky, Kenneth; Cagan, Jonathan (2006): The role of functionality in the mental representations of engineering students: some differences in the early stages of expertise. In: *Cognitive science* 30 (1), S. 65–93. DOI: 10.1207/s15516709cog0000\_45.
- Müller, Klaus (1996): *Allgemeine Systemtheorie. Geschichte, Methodologie und sozialwissenschaftliche Heuristik eines Wissenschaftsprogramms*. Wiesbaden, s.l.: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Neugebauer, Wilfried (1980): Didaktische Modellsituationen. In: Stachowiak, Herbert (Hg.): *Modelle und Modelldenken im Unterricht. Anwendungen der allgemeinen Modelltheorie auf die Unterrichtspraxis*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 50–72.
- Oberquelle, Horst (1984): On models and modelling in human-computer co-operation. In: van der Veer, Gerrit C.; Tauber, Michael J. und Gorny, Peter (Hg.): *Readings on cognitive ergonomics - mind and computers. Proceedings of the 2nd European conference*, Bd. 178. Berlin: Springer, S. 26–43.
- Oberrauch, Anna; Keller, Lars; Riede, Maximilian; Mark, Stefanie; Kuthe, Alina; Körfgen, Annemarie; Stötter, Johann (2015): k.i.d.Z.21 – kompetent in die Zukunft“ – Grundlagen und Konzept einer Forschungs-Bildungs-Kooperation zur Bewältigung der Herausforderungen des Klimawandels im 21. Jahrhundert. In: *gw-unterricht* 3, S. 19–31.
- Oden, Gregg C. (1987): Concept, Knowledge and Thought. In: *Annual Review of Psychology* 38, S. 203–267.
- Ortega y Gasset, José (1949): *Betrachtungen über die Technik*. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Ossimitz, Günther (2000): *Entwicklung systemischen Denkens*. München: Profil.
- Ossimitz, Günther; Lapp, Christian (2006): *Das Metanoia-Prinzip. Eine Einführung in systemisches Denken und Handeln*. Hildesheim, Berlin: Franzbecker.
- Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd (Hg.) (2015): *Modulhandbuch für den Studiengang Bachelor Lehramt Sekundarstufe I. gültig ab Wintersemester 2015/16*. Online verfügbar unter [http://www.ph-gmuend.de/fileadmin/redakteure/ph-hauptseite/redakteure/daten/download/studium/BA\\_Sekundarstufe\\_I/Modulhandbuch\\_Bachelor\\_Sekundarstufe\\_I\\_WS\\_15\\_16\\_komplett\\_Maerz\\_18.pdf](http://www.ph-gmuend.de/fileadmin/redakteure/ph-hauptseite/redakteure/daten/download/studium/BA_Sekundarstufe_I/Modulhandbuch_Bachelor_Sekundarstufe_I_WS_15_16_komplett_Maerz_18.pdf), zuletzt aktualisiert 30.04.2015, zuletzt geprüft am 12.04.2020.
- Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Hochschule Aalen (2022): *Studiengang Ingenieurpädagogik B.Eng./M.Sc.* Online verfügbar unter [https://www.ph-gmuend.de/fileadmin/redakteure/ph-hauptseite/redakteure/daten/download/studium/Berufliche\\_Schule\\_\\_Ing.\\_Paed\\_/Flyer\\_MA\\_Ingenieurpaedagogik.pdf](https://www.ph-gmuend.de/fileadmin/redakteure/ph-hauptseite/redakteure/daten/download/studium/Berufliche_Schule__Ing._Paed_/Flyer_MA_Ingenieurpaedagogik.pdf), zuletzt aktualisiert 2022, zuletzt geprüft am 18.06.2022.
- Papula, Lothar (2014): *Mathematische Formelsammlung*. Wiesbaden: Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg (Für Ingenieure und Naturwissenschaftler).

- Pätzold, Henning (2019): Systemdenken Lernen. In: Leal Filho, Walter (Hg.): Aktuelle Ansätze zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 357–374.
- Pfenning, Uwe (2013): Technikbildung und Technikdidaktik - ein soziologischer Über-, Ein- und Ausblick. In: *Journal of Technical Education* 1 (1), S. 111–131.
- Pfenning, Uwe (2016): Zur Soziotechnik (in) der Technikdidaktik. In: *Journal of Technical Education* 4 (2), S. 86–105.
- Pietzsch, Joachim (2020): Bioökonomie im Selbststudium: Grundlagen und Ausgangspunkte. Berlin, Heidelberg: Springer (Zertifikatskurs Bioökonomie).
- Pittel, Karen (2012): Das energiepolitische Zieldreieck und die Energiewende. In: *ifo Institute - Leibniz Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München* 65 (12), S. 22–26.
- Poser, Hans (2016): Homo Creator. Technik Als Philosophische Herausforderung. Wiesbaden: Springer.
- Pröbstle, Yvonne (2014): Kulturtouristen. Eine Typologie. Wiesbaden: Springer VS.
- Pruyt, Erik (2013): Small System Dynamics Models for BIG Issues. Triple Jump towards Real-World Dynamic Complexity: TU Delft Library.
- Qi, Liang; Gonzalez, Cleotilde (2015): Mathematical knowledge is related to understanding stocks and flows: results from two nations. In: *System Dynamics Review* 31 (3), S. 97–114. DOI: 10.1002/sdr.
- Qi, Liang; Gonzalez, Cleotilde (2019): Math matters: mathematical knowledge plays an essential role in Chinese undergraduates' stock-and-flow task performance. In: *System Dynamics Review* 35 (3), S. 208–231. DOI: 10.1002/sdr.1640.
- Quaschnig, Volker (2011): Regenerative Energiesysteme. [S.l.]: Hanser Fachbuchverlag.
- Rädiker, Stefan; Kuckartz, Udo (2019): Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA. Text, Audio und Video. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Ragni, Marco; Johnson-Laird, Philip N. (2020): Reasoning about epistemic possibilities. In: *Acta psychologica* 208, S. 103081. DOI: 10.1016/j.actpsy.2020.103081.
- Ratter, Beate M.W.; Treiling, Thomas (2008): Komplexität - oder was bedeuten die Pfeile zwischen den Kästchen. In: Egner, Heike; Ratter, Beate M.W. und Dikau, Richard (Hg.): Umwelt als System - System als Umwelt? München: oekom, S. 23–38.
- Reinmann-Rothmeier, Gabi; Mandel, Heinz (1997): Lehren im Erwachsenenalter. In: Weinert, Franz E. und Mandel, Heinz (Hg.): Psychologie der Erwachsenenbildung. Göttingen: Hogrefe, S. 355–404.
- Reis, Oliver; Szczyrba, Birgit (2010): Begegnung im Lernfeld Hochschule. In: *Zeitschrift für Psychodrama und Soziometrie* 9 (2), S. 281–295. DOI: 10.1007/s11620-010-0085-2.
- Reynolds, Martin, Holwell, Sue (2010): Introducing Systems Approaches. In: Reynolds, Martin, Holwell, Sue (Hg.): Systems Approaches to Managing Change. A Practical Guide. London: Springer, S. 1–23.
- Richardson, George P. (1992): Feedback thought in social science and systems theory : University of Pennsylvania Press, 1991. In: *System Dynamics Review* 8 (1), S. 105–107. DOI: 10.1002/sdr.4260080114.
- Richmond, Barry (1993): Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond. In: *System Dynamics Review* 9 (2), S. 113–133. DOI: 10.1002/sdr.4260090203.



- Riemeier, Tanja (2007): Moderater Konstruktivismus. In: Krüger, Dirk und Vogt, Helmut (Hg.): Theorien in der biomedizinischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 69–79.
- Rieß, Werner (2013): Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung des systemischen Denkens. In: *Anliegen Natur* 35, S. 55–64.
- Ropohl, Günter (Hg.) (1975): Systemtechnik. Grundlagen und Anwendung. München: Hanser.
- Ropohl, Günter (1999): Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. 2. Auflage. München, Wien: Hanser.
- Ropohl, Günter (2005): Allgemeine Systemtheorie als transdisziplinäre Integrationsmethode. Zum Andenken an Herbert Stachowiak (1921-2004). In: *TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* 2 (14), S. 24–31.
- Ropohl, Günter (2009): Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Ropohl, Günter (2010): Jenseits der Disziplinen – Transdisziplinarität als neues Paradigma. Hg. v. LIFIS online. Online verfügbar unter [https://www.leibniz-institut.de/archiv/ropohl\\_21\\_03\\_10.pdf](https://www.leibniz-institut.de/archiv/ropohl_21_03_10.pdf), zuletzt aktualisiert 21.03.2010.
- Roth, Heinrich (1971): Pädagogische Anthropologie. Bildsamkeit und Bestimmung. Hannover, Berlin, Darmstadt: Schroedel.
- Schaffernicht, Martin; Groesser, Stefan N. (2016): A competence development framework for learning and teaching system dynamics. In: *System Dynamics Review* 32 (1).
- Schaffernicht, Martin; López-Astorga, Miguel; Rojas-Barahona, Cristian; Castillo, Ramón (2021): Beyond Misperception—Two Types of Mental Model Errors in a Dynamic Decision Task. In: *Preprints* 2021070004. DOI: 10.20944/preprints202107.0004.v2.
- Schmayl, Winfried; Wilkening, Fritz (Hg.) (1995): Technikunterricht. 2. Aufl. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Schmidt, Jan (2009): Interdisziplinäre Technikbildung. Ein programmatischer Entwurf. In: *TATuP* 18 (3), S. 48–55. DOI: 10.14512/tatup.18.3.48.
- Senge, Peter (Hg.) (2000): Schools that learn. A fifth discipline fieldbook for educators, parents, and everyone who cares about education. New York, NY: Doubleday.
- Senge, Peter M. (2006): The fifth discipline. London: Random House Business.
- Siebert, Horst (2012): Lernen und Bildung Erwachsener. 2. Aufl. Bielefeld: wbv.
- Sommer, Cornelia (2006): Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern im Bereich Biologie. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät.
- Stachowiak, Herbert (1973): Allgemeine Modelltheorie. Nachdruck der 1. Auflage 1973. Wien: Springer.
- statista.de (Hg.) (2022): Preisentwicklung ausgewählter OPEC-Rohöl in den Jahren 1960 bis 2022. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/810/umfrage/rohloelpreisentwicklung-opec-seit-1960/>, zuletzt aktualisiert Mai 2022, zuletzt geprüft am 30.05.2022.

Sterman, John; Fiddaman, Thomas; Franck, Travis; Jones, Andrew; McCauley, Stephanie; Rice, Philip et al. (2012): Climate Interactive: The C-ROADS Climate Policy Model. In: *System Dynamics Review* 28 (3), S. 295–305.

Sterman, John D. (1994): Learning in and about complex systems. In: *System Dynamics Review* 10 (2-3), S. 291–330. DOI: 10.1002/sdr.4260100214.

Sterman, John D. (2000): Business dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Boston: Irwin/McGraw-Hill.

Sterman, John D. (2002): All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. In: *System Dynamics Review* 18 (4), S. 501–531. DOI: 10.1002/sdr.261.

Sterman, John D. (2010): Does formal system dynamics training improve people's understanding of accumulation? In: *System Dynamics Review* 26 (4), S. 316–334.

Sternal, Oliver; Walliser, Nils-Ole (2020): Physik-Vorkenntnisse von Studienanfängerinnen und -anfängern in MINT-Fächern. In: *Die Hochschullehre* 6, S. 103–118.

Strauss, Anselm L.; Corbin, Juliet M. (1996): Grounded theory. Grundlagen qualitativer Sozialforschung. Weinheim: Beltz.

Struben, Jeroen (2020): The coronavirus disease (COVID-19) pandemic: simulation-based assessment of outbreak responses and postpeak strategies. In: *System Dynamics Review* 36 (3), S. 247–293. DOI: 10.1002/sdr.1660.

Strübing, Jörg (2018): Und war es auch gut? Gütekriterien qualitativer Forschung. In: Strübing, Jörg (Hg.): Qualitative Sozialforschung. Eine komprimierte Einführung. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Boston: de Gruyter, S. 204–217.

Strübing, Jörg; Hirschauer, Stefan; Ayaß, Ruth; Krähnke, Uwe; Scheffer, Thomas (2018): Gütekriterien qualitativer Sozialforschung. Ein Diskussionsanstoß. In: *Zeitschrift für Soziologie* 47 (2), S. 83–100. DOI: 10.1515/zfsoz-2018-1006.

The MathWorks, Inc. (2022): Matlab. Online verfügbar unter <https://de.mathworks.com/products/matlab.html>, zuletzt aktualisiert 07.03.2022, zuletzt geprüft am 19.05.2022.

The MathWorks Inc. (2022): Simulink-gemacht für Model-based Design. Online verfügbar unter <https://de.mathworks.com/products/simulink.html>, zuletzt aktualisiert 2022, zuletzt geprüft am 09.02.2022.

Tippelt, Rudolf (2010): Idealtypen konstruieren und Realtypen verstehen - Merkmale der Typenbildung. In: Ecarius, Jutta und Schäffer, Burkhard (Hg.): Typenbildung und Theoriegenerierung. Methoden und Methodologien qualitativer Bildungs- und Biographieforschung. Opladen: Budrich, S. 115–127.

van Dooren, Wim; Bock, Dirk de; Hessels, An; Janssens, Dirk; Verschaffel, Lieven (2005): Not Everything Is Proportional: Effects of Age and Problem Type on Propensities for Overgeneralization. In: *Cognition and Instruction* 23 (1), S. 57–86. DOI: 10.1207/s1532690xci2301\_3.

Vennix, Jac A. M. (1999): Group model-building: tackling messy problems. In: *System Dynamics Review* 15 (4), S. 379–401.

Ventana Systems (2015): Vensim. Online verfügbar unter <https://vensim.com/>, zuletzt aktualisiert 2015, zuletzt geprüft am 18.05.2022.

Wassermann, Sandra; Reeg, Matthias; Nienhaus, Kristina (2015): Current challenges of Germany's energy transition project and competing strategies of challengers and incumbents: The case of direct marketing of electricity from renewable energy sources. In: *Energy Policy* 76, S. 66–75. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.10.013.

Weizsäcker, Ernst Ulrich von; Wijkman, Anders (2017): Wir sind dran. Was wir ändern müssen, wenn wir bleiben wollen. 3. Auflage. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus.

Wiener, Norbert (1968): Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschine. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verlag.

Windelband, Lars (2021): Eine neue Form der Prozessorientierung in der beruflichen Bildung im Zeitalter der Digitalisierung. In: Kohl, Matthias; Dietrich, Andreas und Faßhauer, Uwe (Hg.): „Neue Normalität“ betrieblichen Lernens gestalten. Konsequenzen von Digitalisierung und neuen Arbeitsformen für das Bildungspersonal. 1. Auflage. Leverkusen: Verlag Barbara Budrich, S. 199–220.

Winter, Sandra (2009): Einstellungen und Diagnosefähigkeit von Lehrkräften der Biologie im Bereich systemischen Denkens. Eine qualitative Studie, Universität Wien. Biologie und Umweltkunde; Haushaltsökonomie und Ernährung.

Zawojewski, Judith S.; Diefes-Dux, Heidi A.; Bowman, Keith J. (2008): Models and Modeling in Engineering Education: Designing Experiences for All Students.

ZSL Baden-Württemberg (2016): Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE). Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <https://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/LS/BP2016BW/ALLG/LP/BNE>, zuletzt aktualisiert 15.02.2016, zuletzt geprüft am 15.06.2022.

Anhang

# Anhang

**Inhaltsverzeichnis Anhang**

<b>A.</b>	<b>Datennutzung</b> .....	<b>4</b>
A.1.	Einverständnis Datennutzung (informed consent).....	4
A.2.	Auswertung: Zustimmung zur Datennutzung .....	7
<b>B.</b>	<b>Fragebögen</b> .....	<b>8</b>
B.1.	Leitfadeninterview .....	9
<b>C.</b>	<b>Intervention: Ablauf und Arbeitsblätter</b> .....	<b>10</b>
C.1.	Ablauf der Intervention.....	10
C.2.	Arbeitsblätter Biogas .....	11
<b>D.</b>	<b>Testaufgaben</b> .....	<b>19</b>
D.1.	Pre-Test und Post-Test.....	19
D.2.	Zwischentest .....	19
<b>E.</b>	<b>Transkripte der Modellvorstellung</b> .....	<b>21</b>
E.1.	Transkriptbeispiel Modellvorstellung PHT16 .....	21
E.2.	Transkriptbeispiel Modellvorstellung IP17 .....	22
<b>F.</b>	<b>Qualitative Inhaltsanalyse</b> .....	<b>23</b>
F.1.	Codedefinitionen.....	23
F.2.	Fallzusammenfassungen .....	27
F.3.	Zusammenhangsanalyse .....	30
<b>G.</b>	<b>Typenbildung</b> .....	<b>35</b>
G.1.	Beschreibung Merkmalsausprägungen .....	35
G.2.	Entwicklung der Typologie .....	49

## Anhang

In diesem Anhang sind Dokumente aus verschiedenen Phasen der Studie abgedruckt. Abschnitt A umfasst das Einverständnis zur Datennutzung. In Abschnitt B sind Items der sozio-demographischen Erhebung im Pre- Test dargestellt. Die Abschnitte C und D umfassen eine Auswahl an Dokumenten, die in der Intervention eingesetzt wurden. Anhang E stellt eine Auswahl von Transkripten der Modellvorstellung dar, während in Anhang F zum Kategoriensystem der qualitativen Inhaltsanalyse Codedefinitionen, eine Auswahl an Fallbeispielen und die Zusammenhangsanalyse umfasst. Anhang G schließlich umfasst die Einordnung der Fälle im Merkmalsraum der Typologie.<sup>155</sup>

---

<sup>155</sup> Zur kompakteren Darstellung wurde im Anhang auf eine Nummerierung der einzelnen Tabellen und Abbildungen verzichtet

## **A. Datennutzung**

### **A.1. Einverständnis Datennutzung (informed consent)**

#### **A) Hintergrund**

Die vorgestellte Studie wird im Rahmen einer wissenschaftlichen Qualifikationsarbeit (Dissertation) in Kooperation mit der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd durchgeführt. Forschungsgegenstand ist die Untersuchung der Modellierungskompetenz und mehrperspektivischen Systembetrachtung bei Studierenden technisch orientierter Studiengänge.

Die Kurseinheit wird von Yvonne Beck (Doktorandin an der PH Schwäbisch Gmünd) konzipiert, durchgeführt und wissenschaftlich ausgewertet.

#### **B) Durchführung**

Die Studie setzt sich zusammen aus einer Vorbesprechung (< Datum >), sowie zwei Veranstaltungsterminen am (< Datum >) und (< Datum >) im Rahmen der Lehrveranstaltung (< Name der Lehrveranstaltung >). Sie wird umrahmt durch Erhebungen in Form von Fragebögen und kurzen Interviews.

#### **C) Datenerhebung und -nutzung**

Im Rahmen des Projekts können folgende Daten zu Forschungszwecken erhoben werden

- 1) Feldnotizen zum Verlauf der Veranstaltung
- 2) Dokumente und Ergebnisse der Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus der Veranstaltung
- 3) Fragebögen (in Papierform oder auf StudIP)
- 4) Tonaufnahmen (Interviews und Veranstaltungssequenzen)

Die Daten werden ausschließlich zu wissenschaftlichen Zwecken im Rahmen des Forschungsprojekts verwendet und nicht an Dritte weitergegeben. Die wissenschaftliche Auswertung erfolgt pseudonymisiert, das heißt, in der verschriftlichen Form der Forschungsergebnisse werden alle personenbezogenen Informationen so verfremdet, dass kein Rückschluss auf konkrete Personen möglich ist.<sup>156</sup>

Aufgrund der Profilierung der Studiengänge, in denen die Untersuchung durchgeführt wird, ist jedoch nicht auszuschließen, dass ein Rückschluss auf die untersuchten Studiengänge bzw. Hochschulen möglich ist.

In wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden Aufzeichnungen, die zusammenhängenden personenbezogene Aussagen enthalten, nur in Ausschnitten zitiert, um gegenüber Dritten

---

<sup>156</sup> Formulierung in Anlehnung an [https://www.ratswd.de/dl/ratswd\\_wp\\_238.pdf](https://www.ratswd.de/dl/ratswd_wp_238.pdf), S. 21, abgerufen am 02.04.2016.

sicherzustellen, dass der entstehende Gesamtzusammenhang von Ereignissen nicht zu einer Identifizierung der Person führen kann.<sup>157</sup>

Personenbezogene Kontaktdaten werden, von erhobenen Daten getrennt, für Dritte unzugänglich aufbewahrt. Nach Beendigung des Forschungsprojekts werden Ihre Kontaktdaten gelöscht, es sei denn, Sie stimmen einer weiteren Speicherung zur Kontaktmöglichkeit für themenverwandte Forschungsprojekte oder für follow-up-Befragungen ausdrücklich zu. Sie können einer längeren Speicherung zu jedem Zeitpunkt widersprechen.<sup>158</sup>

#### **D) Erstellung eines Pseudonyms**

Für den weiteren Verlauf der Kurseinheit ist ein Pseudonym zu erstellen, mit dem Sie Ihre Dokumente beschriften werden.

- a) Bitte bilden Sie ein Pseudonym, das sich wie folgt zusammensetzt.  
< Die genaue Gestaltung des Pseudonyms ist aus Gründen des Datenschutzes hier nicht dargestellt >.
- b) Bitte notieren Sie Ihr Pseudonym auf dem dafür bereitgestellten Blatt.

Bringen Sie das Pseudonym an den Veranstaltungsterminen mit und geben Sie es auf allen Dokumenten an, die im Rahmen der Studie erstellt werden.  
Vielen Dank!

#### **1) Einverständniserklärung zur Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Daten**

Die Informationen zu Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Daten habe ich gelesen. Ich stimme der pseudonymisierten<sup>159</sup> Verarbeitung folgender Daten zu:

1) Feldnotizen der Forscherin zum Verlauf des Workshops

- Ja       Nein

2) Arbeitsergebnisse aus dem Workshop zur Modellbildung

- Ja       Nein

3a) Inhalte von Fragebögen in Papierform (pseudonymisiert)

- Ja       Nein

---

<sup>157</sup> angepasst nach [https://www.ratswd.de/dl/ratswd\\_wp\\_238.pdf](https://www.ratswd.de/dl/ratswd_wp_238.pdf), S. 21, abgerufen am 02.04.2016 (Der Zugriff war 2022 nur noch nach Authentifizierung möglich, Stand: 16.08.2022)

<sup>158</sup> Formulierung entnommen aus [https://www.ratswd.de/dl/ratswd\\_wp\\_238.pdf](https://www.ratswd.de/dl/ratswd_wp_238.pdf), S. 21, abgerufen am 02.04.2016

<sup>159</sup> „Pseudonymisieren ist das Ersetzen des Namens und anderer Identifikationsmerkmale durch ein Kennzeichen zu dem Zweck, die Bestimmung des Betroffenen auszuschließen oder wesentlich zu erschweren.“ (Bundesdatenschutzgesetz, §3, Absatz 6a, [https://www.bfdi.bund.de/bfdi\\_wiki/index.php/3\\_BDSG\\_Kommentar\\_Absatz\\_6a](https://www.bfdi.bund.de/bfdi_wiki/index.php/3_BDSG_Kommentar_Absatz_6a), abgerufen 02.04.2016).



3b) Inhalte von Fragebögen auf StudIP (pseudonymisiert)

- Ja       Nein

4) Befragungen/Interviews und mündliche Rückmeldung zum Workshop

- Ja       Nein

**2) Weitere Kontaktierung**

Ich bin damit einverstanden, für zukünftige themenverwandte Untersuchungen oder follow-up Befragungen kontaktiert zu werden. Hierzu bleiben meine Kontaktdaten über das Ende des Kurses hinaus gespeichert.

ja

nein

ja, jedoch zunächst nur bis \_\_\_\_\_/20\_\_\_\_\_

Bei Auswahl dieser Option werden Sie zu angegebenerm Zeitpunkt angeschrieben, um erneut zu entscheiden.

Wenn Sie **ja** angekreuzt haben, geben Sie bitte Ihre E-Mail-Adresse in Druckbuchstaben an.

E-Mail-Adresse \_\_\_\_\_

**2) Einsatz von Aufzeichnungsgeräten**

Während der Präsenzphase des Workshops werden Aufnahmegeräte eingesetzt, um Interviews, sowie den Verlauf der Modellbildung (insbesondere während Gruppenphasen) zu dokumentieren.

Mit welcher/n Aufzeichnungsart/en sind Sie einverstanden? (Mehrfachnennung möglich)

*Auf Wunsch erhalten Sie Einblick in die Transkripte und haben die Möglichkeit, Ausschnitte von der wissenschaftlichen Weiterverwendung auszuschließen.*

Ich bin einverstanden mit

einer Dokumentation der (Zwischen-)Ergebnisse durch Fotos (Fotoprotokoll des Modellbildungsprozesses)

einer Dokumentation von Interviews durch Tonaufnahmegeräte.

einer Dokumentation des Arbeitsprozesses (Gruppenaufgaben) durch Tonaufnahmegeräte

**Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung jederzeit widerrufen kann.**

< Ort > , < Datum > , < Unterschrift >

## A.2. Auswertung: Zustimmung zur Datennutzung

<b>Studiengruppe</b>	<b>Anzahl Teilnehmender an mindestens einem Veranstaltungstermin</b>	<b>Anzahl Teilnehmender mit vollständigem Datensatz und Einverständnis zur Datennutzung</b>
IDM16	7	7
PHT16	8	3
MSE16	4	4
IP17	11	7
IDM17	10	9

In der Auswertung wurden nur Fälle berücksichtigt, die an beiden Studienterminen teilnahmen und die Zustimmung zur Datennutzung gegeben hatten.

## B. Fragebögen

Die folgenden Fragen wurden vor Studienbeginn ergänzend zum Pre-Test gestellt, um soziodemografischen Hintergrund und Bildungsmerkmale zu erfassen.

Items der Fragebögen sind in der Charakterisierung der Typen in Kapitel 12 und 13 verarbeitet.

### *Sozio-demographische Daten*

- Geschlecht
- Alter
- Muttersprache(n)

### *Fragen zum schulischen Hintergrund*

- An welcher Schulart haben Sie Ihre Hochschulzugangsberechtigung (HZB) erworben?
- In welchem Jahr haben Sie Ihre HZB erworben?
- Welches Profil hatte die Schule, an der Sie Ihre HZB erworben haben? [Wenn Sie ein allgemeinbildendes Gymnasium besucht haben, geben Sie bitte Ihre 4-stündigen Fächer in der Oberstufe an].
- Welches war/en Ihr/e Lieblingsfach/-fächer während der Schulzeit?
- In welchem Fach / welchen Fächern fiel Ihnen das Lernen in der Schule am leichtesten?
- Bitte erläutern Sie kurz, warum Ihnen das Lernen dort leicht fiel.
- Haben Sie vor Studienbeginn eine Ausbildung absolviert?
- Wenn Sie eine Ausbildung absolviert haben, geben Sie bitte den Ausbildungsbereich an.
- Wenn Sie vor dem Studium eine Ausbildung, einen Freiwilligendienst und/oder eine Berufstätigkeit ausgeübt haben oder studiert haben, beschreiben Sie bitte stichwortartig die Zeitdauer, sowie den fachlichen/institutionellen Rahmen der Tätigkeiten.

### *Fragen zu Studienhintergrund und Berufswunsch*

- Bitte geben Sie Ihr Hauptfach im Studium an.
- Bitte geben Sie Ihre Nebenfächer im Studium an.
- In welchem Studiensemester befinden Sie sich aktuell?
- Welche alternativen Studiengänge haben Sie vor Beginn Ihres Studiums in Betracht gezogen?
- Welches ist Ihr angestrebter Studienabschluss (inklusive Schulart)?
- Was motiviert Sie dazu, ihr aktuelles Studium zu absolvieren?
- Welche Kompetenzen möchten Sie im Studium erwerben/erweitern?
- Welche Fächer im Studium erlauben Ihnen besonders, die gewünschten Kompetenzen zu erweitern?
- Welche Themenbereiche haben Sie bisher im Studium am meisten interessiert?
- Bitte reflektieren Sie kurz, woher das Interesse an den genannten Bereichen stammt.
- Welche Fächer im Studium erlauben Ihnen besonders, die gewünschten Kompetenzen zu erweitern?
- Warum studieren Sie <Masterstudiengang >

- Welche Themenbereiche haben Sie bisher im Studium am meisten interessiert?
- Bitte reflektieren Sie kurz, woher das Interesse an den genannten Bereichen stammt.
- Welches ist der Traumberuf, in den Sie gern nach Abschluss des Masterstudiums einsteigen möchten?
- Was fasziniert Sie an dieser Berufsvision?

### B.1. Leitfadeninterview

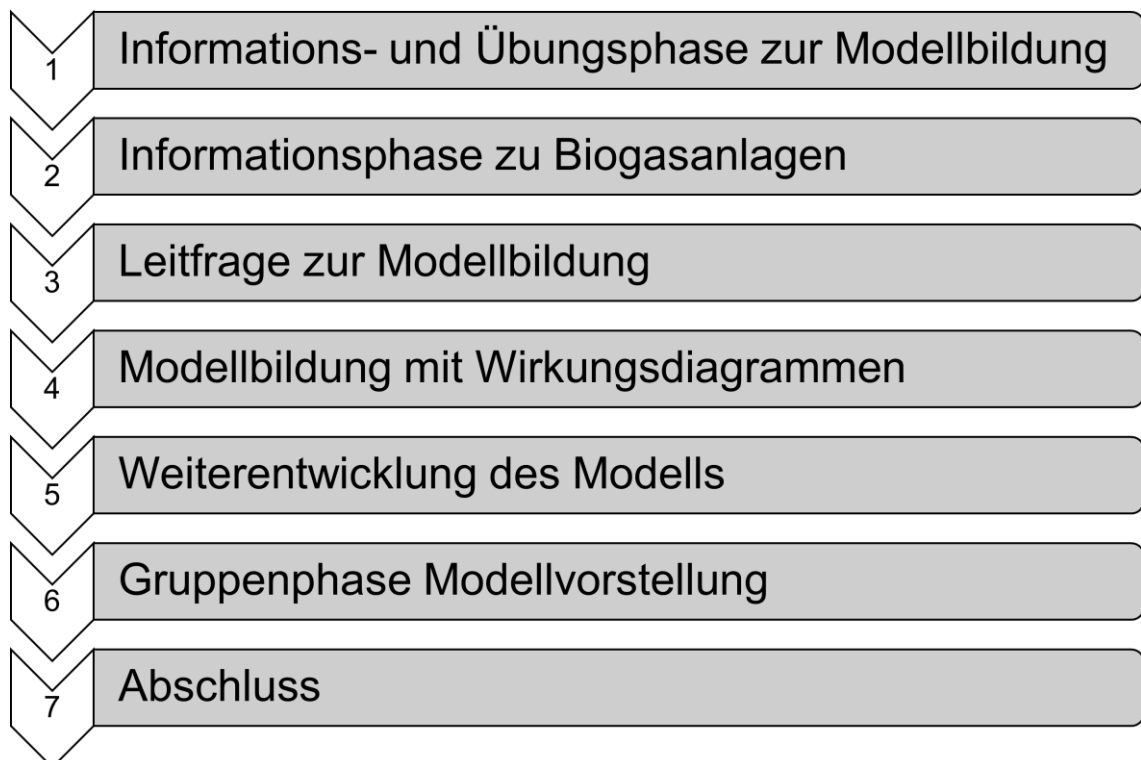
Die Leitfadeninterviews wurden vor Beginn des zweiten Interventionstermins durchgeführt. Sie dienten zur kommunikativen Validierung von soziodemografischen und Bildungsmerkmalen. Eine ursprünglich umfangreicherer Abschnitt mit Fragen zum Studienprofil wurde nur in Gruppe IDM16 genutzt, da im Auswertungsverlauf die Individualebene als Referenzebene für die Typologie festgelegt wurde und somit Fragen zum Studiengang weniger relevant waren (vgl. Kapitel 7.5). Grau markierte Elemente sind Zusatzfragen, die je nach Gesprächsverlauf gestellt wurden und sich teilweise spezifisch auf Studierende mit Vorkenntnissen in der Systemmodellierung beziehen. Die Interviews wurden meist mit Zweiergruppen durchgeführt.

Phase	Texte
Begrüßung	Hallo <Name>
Datennutzung	Ich würde den Gesprächsverlauf gern aufzeichnen, um mich besser auf das Gespräch konzentrieren zu können. Sind Sie damit einverstanden?  (Wenn Interesse besteht, haben Sie die Möglichkeit, das Transkript des Interviews zu lesen und dazu erneut Rückmeldung zu geben)
Studiengang	Versetzen Sie sich doch bitte in die Situation eines künftigen Arbeitgebers. Welches Profil (als Ingenieur / ..) können Sie ihm bieten?  Wodurch zeichnet sich Ihr Bildungsweg aus?  Was waren die Hauptgründe für die Wahl Ihres (Master-)Studiums.  Haben Sie in Betracht gezogen, direkt mit dem Bachelorabschluss ins Berufsleben zu starten oder haben Sie bereits Berufserfahrung gesammelt?
Vorerfahrung Modellbildung und Simulation	Welche Erfahrung haben Sie im Umgang mit Modellbildung und Simulation?  Welche Software haben Sie bereits genutzt?  In welchem Zusammenhang (Vorlesungsbeispiele, praktische Anwendung,...)
Einsatz von Modellierung	Werden Sie sich Ihrer Einschätzung nach auch im Berufsleben mit Modellbildung und Simulation beschäftigen?  Bsp. Abschlussarbeit
Mathematik	Welche Rolle spielt Mathematik Ihrer Meinung nach im Ingenieurberuf?
Persönlicher Bezug EE	Haben Sie einen persönlichen Bezug zu erneuerbaren Energietechnologien? ggf. weiter nachfragen

## C. Intervention: Ablauf und Arbeitsblätter

### C.1. Ablauf der Intervention

Der Ablauf der Intervention wurde durch eine Checkliste geleitet, deren Abschnitte im Folgenden dargestellt sind. Phasen 1 bis 4 wurden am ersten Veranstaltungstermin durchlaufen, Phasen 5 bis 7 fanden in der zweiten Veranstaltung statt.



## C.2. Arbeitsblätter Biogas

Perspektive	Abkürzung	Themenschwerpunkt	In C.2 dargestellt
-	Ü01	Übersicht Energiewende	ja
	Ü02	Biogas und seine Nutzungspfade	ja
Gesellschaft / Politik	G01	Arbeitsplätze	nein
	G02	Kritik	nein
Technik	T01	Netzstabilität	ja
	T02	Technologieentwicklung	ja
Umwelt	U01	Regionale Wertschöpfung	nein
	U02	Kritische Betrachtung von Biogasanlagen	nein
Wirtschaft	W01	Kosten des Biogasanlagenbetriebs	nein
	W02	Vermarktung von Energie aus Biogasanlagen	nein

Die Arbeitsblätter Ü01 und Ü02 stellten die Erstinformation für alle Teilnehmer\*innen der Studie dar. Anschließend trafen die Teilnehmer\*innen eine Auswahl aus zwei bis drei der vier verfügbaren „Perspektiven“ Gesellschaft (G), Umwelt (U), Technik (T) und Wirtschaft (W) und erhielten hierzu jeweils zwei Textdokumente, um sich über die jeweiligen Perspektiven zu informieren und hieraus eine Leitfrage zu entwickeln.

Im Folgenden ist eine Auswahl der Inforamtionstexte dargestellt.<sup>160</sup>

---

<sup>160</sup> Neben den angegebenen Quellen wurden bei der Zusammenstellung der Informationen auf aktuelle Artikel der Zeitschrift Biogas-Journal (Fachverband Biogas 2015-2016), auf Nachschlagewerke des Fachverbands für Nachwachsende Rohstoffe (Döhler 2013; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) 2010, 2013, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) 2022), sowie Eder 2012 und KTBL 2013) eingesetzt. Weitere Quellen, insbesondere Abbildungsnachweis, sind als Fußnoten angegeben.

## Ü01: Übersicht Energiewende

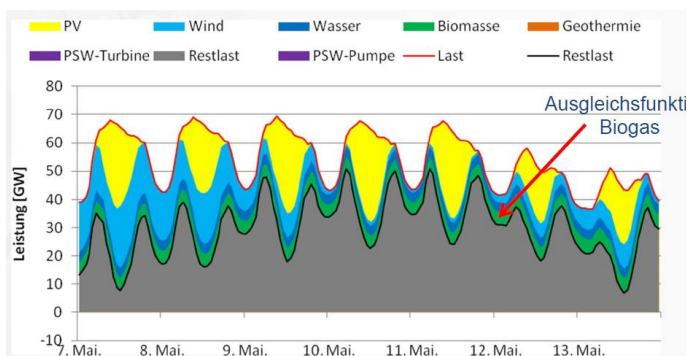
### Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Der Ausbau Erneuerbarer Energien (EE) ist eine der zentralen Säulen der Energiewende. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wurde 2000 als Instrument zur Förderung von „Ökostrom“ konzipiert, mit dem Ziel jungen Technologien wie Sonnen- und Windenergie einen Markteintritt zu ermöglichen und eine „Stromwende“ herbeizuführen.

Die Förderung der Stromerzeugung aus regenerativen Energien erfolgte zunächst durch feste Vergütungen und garantierte Abnahme des erzeugten Stroms, sowie vorrangige Einspeisung des Stroms ins Stromnetz.

Nach einer Phase intensiver Förderung, die dazu beitrug den Anteil erneuerbarer Energien an der deutschen Stromversorgung auf über 25% zu steigern (Abbildung 1), wurde die Vergütungsstruktur zur Förderung erneuerbarer Energieanlagen mit der Novelle des EEG im Jahr 2014 (EEG 2014) grundlegend angepasst.<sup>161</sup>

Im Folgenden ist die Entwicklung für Biogasanlagen dargestellt, von denen bis 2014 ca. 8000 Anlagen in Betrieb genommen wurden. Durch gesetzliche Vorgaben änderten sich die technischen und umweltbezogenen Standards schrittweise.

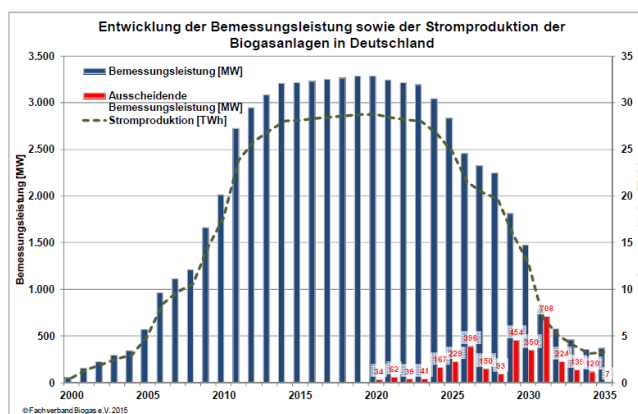


**Abbildung 1:** Flexibler Einsatz von Biogasanlagen im Energiesystem der Zukunft (exemplarischer Wochenverlauf 2020). Fraunhofer IWES, <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/eeg-2014.html>, zuletzt abgerufen am 13.05.2016.

### Biogasanlagen (BGA) im EEG 2014

Während Wind- und Solarenergie seit 2014 die Hauptstrategien im Ausbau der EE darstellen, wird der Ausbau von Biogasanlagen begrenzt gefördert, um einen Beitrag zur bedarfsorientierten Energieerzeugung zu leisten. Dadurch soll die wetterabhängige Stromerzeugung von Wind- und Solarenergieanlagen kompensiert werden (Abbildung 1). Damit sollen die Anlagen auch zur Versorgungssicherheit und Netzstabilisierung beitragen, welche mit dem Atomausstieg und zunehmendem Anteil erneuerbarer Energien im Versorgungsnetz an Bedeutung gewinnen wird.

Mit dem EEG 2014 wurde für **Neuanlagen** anstelle einer festen Vergütung pro kWh Strom eine Direktvermarktung eingeführt, die über ein Marktprämienmodell gefördert wird. Die Förderung ist so bemessen, dass sie kaum wirtschaftlich genutzt werden kann, wodurch der Zubau von Biogasanlagen seit 2014 weitgehend zum Erliegen kam (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Prognose zur Entwicklung der Bemessungsleistung [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_Branchenzahlen](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen), zuletzt abgerufen am 5.5.16.

<sup>161</sup> <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/eeg-2014,did=623088.html>, zuletzt abgerufen am 20.05.2016.

Auch die Zukunft von **Bestandsanlagen** ist unsicher: Da die Betriebskosten für Biogasanlagen nicht beliebig reduzierbar sind und langfristig über dem Börsenstrompreis liegen werden, droht nach Ende der 20-jährigen Förderung eine schrittweise Stilllegung von Biogasanlagen (Abbildung 2), was einem Investitionsvolumen von 25 Mrd. Euro entspricht.<sup>162</sup> Mit dem **EEG 2017** soll ein Ausschreibungsmodell eingeführt werden, das die Förderung neuer Anlagen und Bestands-anlagen, die sich in der Ausschreibung durchgesetzt haben, ermöglicht.

Folgende miteinander vernetzte Themenfelder beeinflussen die Frage, wie die **Zukunft von Biogasanlagen** in Deutschland aussehen kann:

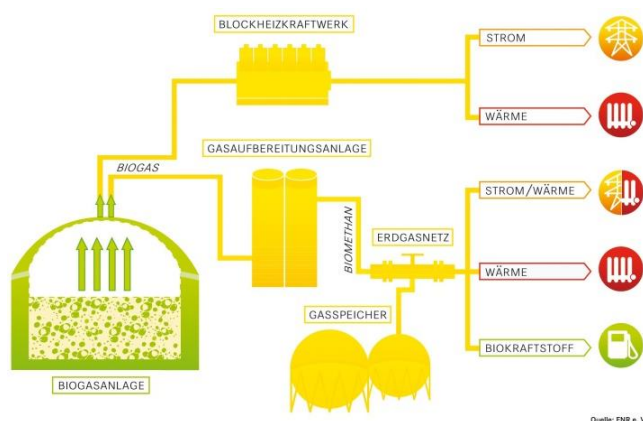
- Gesellschaftliche Einstellung
- Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutz
- Politische Rahmenbedingungen
- Technik und Effizienz von Biogasanlagen, energetische und stoffliche Nutzungspfade
- Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs und Entwicklung des Energiemarkts

## Ü02: Biogas und seine Nutzungspfade

Biogas ist Gas, das aus Vergärung von Biomasse entsteht. Seine Zusammensetzung ist abhängig von den Substraten, die in der Vergärung eingesetzt werden. Hauptbestandteile von Biogas sind Methan (CH<sub>4</sub>) und Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Die in Abbildung 1 dargestellten Nutzungspfade werden im Folgenden erläutert.

### 1) Verbrennung von Rohbiogas zur Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme

Biogas, das in der Regel in den Tragluftdächern der Biogasanlage aufgefangen wird, kann als Rohgas in Vor-Ort-Verstromungsanlagen eingesetzt werden. In diesen Blockheizkraftwerken (BHKW), die das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) nutzen, entsteht neben Strom als Koppelprodukt Wärme. In Deutschland werden Biogas-BHKW aufgrund der staatlichen Förderung (EEG) stromgeführt betrieben. Daher wird die „Größe“ einer Biogasanlage basierend auf der installierten Verstromungskapazität der KWK-Anlagen berechnet und in kW<sub>el</sub> angegeben.



**Abbildung 1:** Nutzungspfade für Biogas  
[http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr\\_biomethan\\_web.pdf](http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_biomethan_web.pdf), S.7, S.14, zuletzt abgerufen am 03.08.2016.

#### 1a) Wärmenutzung

<sup>162</sup><https://www.unendlich-viel-energie.de/presse/branchenmeldungen/biogasbranche-vereint-in-forderung-nach-verlaesslichen-regelungen-fuer-bestandsanlagen>, zuletzt abgerufen am 13.05.2016.



BHKW werden in der Regel in der Nähe der Biogasanlage installiert. Der Strom kann ins Stromnetz eingespeist und transportiert werden. Jedoch ist eine Speicherung von Strom bisher kaum möglich.

Die Wärme sollte lokal genutzt werden, da ein Wärmetransport verlustreich ist. Ein Teil der Wärme wird für die Beheizung der Fermenter der Biogasanlage eingesetzt (ca. 20-25%). Die weitere Wärmenutzung kann z.B. durch Nahwärmenetze erfolgen, mit denen umliegende Haushalte versorgt werden. In Bioenergie-dörfern sind solche Konzepte bereits umgesetzt. Weitflächig fehlen jedoch noch Wärmenutzungskonzepte, mit denen Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Klimaverträglichkeit der Biogasanlagen verbessert werden kann. Manche Maßnahmen, wie die Wärmenutzung zur Trocknung von Holz bringen einen Rebound-Effekt mit sich, d.h. Wärme wird dort eingesetzt, wo sie vorher bei traditioneller Sommertrocknung nicht benötigt wurde.

### **1b) Stromerzeugung aus BHKW**

Zunächst wurden im Rahmen der EEG-Förderung, die seit 2000 besteht, Biogasanlagen so ausgelegt, dass die installierten BHKW das erzeugte Gas sofort verstromen konnten und der kontinuierlich erzeugte Strom ins Netz eingespeist wurde.

Seit der EEG-Novelle 2014 wird für Neuanlagen eine doppelte Überbauung gefordert: eine Förderung der Stromerzeugung über das EEG erfolgt nur noch für 50% der installierten BHKW-Leistung.<sup>163</sup> Ziel der Maßnahme ist die Förderung einer nachfrageorientierten, flexiblen Verstromung: Bei hoher Nachfrage wird die gesamte installierte BHKW Leistung genutzt um Biogas zu verstromen, während bei geringer Nachfrage BHKW in Teillast betrieben oder abgeschaltet werden und das Gas in Speichern zwischengespeichert wird. Eine weitere Grundidee dieser politischen Regelung ist, dass der Anlagenbetrieb nur noch dann wirtschaftlich sein soll, wenn neben der EEG-geförderten Stromeinspeisung ein effizientes Wärmenutzungskonzept umgesetzt wird. In der Praxis ist die Förderung jedoch seit 2014 nicht ausreichend, um wirtschaftlichen Betrieb von Neuanlagen zu ermöglichen.

Bestandsanlagen, die aus der kontinuierlichen in die bedarfsorientierte Stromerzeugung wechseln möchten, können prinzipiell die begrenzte Lebensdauer der BHKW von ca. 7 Jahren nutzen, um eine Anpassung der BHKW-Leistung für flexiblen Anlagenbetrieb vorzunehmen.

### **2) Aufbereitung von Biogas und Einspeisung ins Erdgasnetz (Methanisierung)**

Da die Zusammensetzung von Biogas weitgehend mit der von Erdgas übereinstimmt, kann Biogas nach geeigneter Aufbereitung und Verdichtung ins Erdgasnetz eingespeist werden.<sup>164</sup> Da das Erdgasnetz deutschlandweit gut ausgebaut ist, ermöglicht dies eine räumliche und zeitliche Entkopplung von Biogas-Produktion und Nutzung. So könnten z.B. Biogasanlagen im ländlichen Raum die Strom- und Wärmeversorgung in Städten unterstützen.<sup>165</sup>

Die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan umfasst die Schritte Entfeuchtung, Entschwefelung und Abtrennung von Kohlenstoffdioxid. Das Biomethan (d.h. Methan aus biogenen statt aus fossilen Rohstoffen) wird nach einer Druckerhöhung ins Erdgasnetz eingespeist.<sup>166</sup>

---

<sup>163</sup> Wiederum müssen Anlagen, wenn sie neu konzipiert würden bei gleicher Auslegung der Gärfermenter die doppelte BHKW-Kapazität installieren.

<sup>164</sup> [http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/ fnr\\_biomethan\\_web.pdf](http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/ fnr_biomethan_web.pdf), S.12, zuletzt abgerufen am 18.05.2016.

<sup>165</sup> [http://www.carmen-ev.de/files/informationen/Brosch% C3%BCren/Biomethan\\_-\\_Vielseitig\\_einsetzbar\\_web.pdf](http://www.carmen-ev.de/files/informationen/Brosch% C3%BCren/Biomethan_-_Vielseitig_einsetzbar_web.pdf), S. 4f., zuletzt abgerufen am 19.05.2016.

<sup>166</sup> [http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/ f/n/fnr\\_biomethan\\_web.pdf](http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/ f/n/fnr_biomethan_web.pdf), S.26, zuletzt abgerufen am 18.05.2016.

2015 waren in Deutschland ca. 180 Anlagen zur Biomethan-Produktion in Betrieb, was ca. 2% der installierten Biogasanlagen entspricht. Biomethan aus dem Erdgasnetz kann für folgende Nutzungen verwendet werden.

#### **2a) Biomethan als Kraftstoff**

Als Kraftstoff für Erdgasfahrzeuge kann Biomethan in reiner Form oder als Biomethan-Mischprodukt an Erdgas-Tankstellen bereitgestellt werden. Mit 100.000 Erdgasfahrzeugen<sup>167</sup> ist der Markt der Erdgasfahrzeuge aktuell jedoch ein Nischenmarkt, Biomethan deckt aktuell nur ca. 0.1% des Kraftstoffverbrauchs im Verkehrssektor.

#### **2b) Biomethan im Strom- und Wärmemarkt**

Biomethan kann als Erdgassubstitut eingesetzt werden. In konventionellen Erdgasbrennern und Wärmethermen eingesetzt ist es so auch für Privatanutzer erhältlich.<sup>168</sup>

#### **2c) Wirtschaftliche Betrachtung der Biogasaufbereitung**

Für Biomethan gibt es weder eine Abnahmepflicht noch eine feste Vergütung. Der wirtschaftliche Erfolg hängt daher von Erzeugungskosten und der Nachfrage, sowie vom erzielbaren Preisen ab. Da der Großteil der Kosten auf die Substrate des Biogasanlagenbetriebs entfällt, ist eine wirtschaftliche Biomethanproduktion vor allem unter Einsatz von Reststoffen denkbar. Seit der Streichung des Technologiebonus zur Gasaufbereitung im Jahr 2014 wurden kaum neue Aufbereitungsanlagen in Betrieb genommen.

#### **2d) Umweltbilanz der Aufbereitung**

Während die Aufbereitung des Biogases ein relativ energieaufwändiger Prozess ist, kann durch die Methanisierung eine verbesserte Wärmenutzung erreicht werden, da der Energieträger im Erdgasnetz transportfähig ist. Zudem kann die bereits existierende Infrastruktur des Erdgasnetzes für Speicherung und Transport verwendet werden, wodurch ein Neubau entfällt.

---

<sup>167</sup> <http://www.gibgas.de/Fahrzeuge/Historie/Statistik>, zuletzt abgerufen am 06.05.16.

<sup>168</sup> [http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr\\_biomethan\\_web.pdf](http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_biomethan_web.pdf), S.27, zuletzt abgerufen am 18.05.2016.

*T01: Netzstabilität*

**Frequenzerhalt und Netzstabilität**

Im Stromnetz muss eine Frequenz von 50,0 Hz  $\pm 0.2$  Hz gehalten werden, um Stromausfälle und damit einhergehende wirtschaftliche und gesellschaftliche Folgen zu vermeiden. Dazu wird die Stromeinspeisung an die Nachfrage angepasst (Abbildung 1).<sup>169</sup> Da Strom im Netz nicht speicherbar ist, kalkulieren Übertragungsnetzbetreiber im Voraus den Bedarf und kaufen auf dem Regelenergiemarkt über Ausschreibungsverfahren Leistung ein. Diese kann, je nach Nachfrage, eingesetzt oder zurückgehalten werden. Dieser Bilanzausgleich wird in verschiedenen Zeitintervallen durchgeführt: neben täglicher Vorkalkulation finden Viertelstunden- und Minutenregelung statt (Abbildung 2).

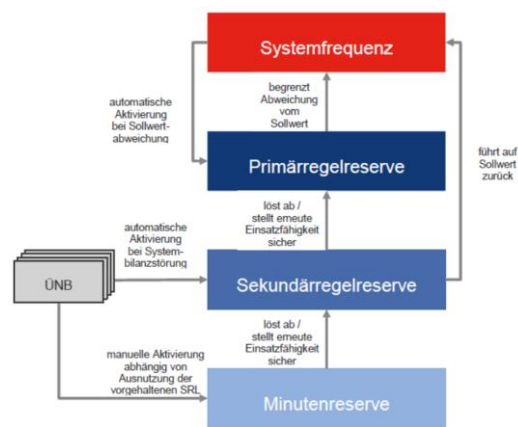


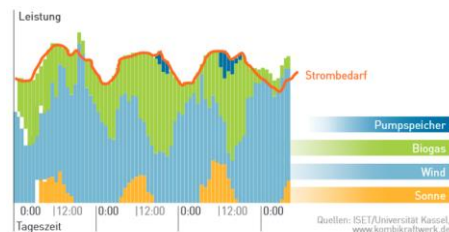
Abbildung: Einsatz und Aufgaben der verschiedenen Reservequalitäten (Quelle: Consentec GmbH)<sup>169</sup>

**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der Regenergieerreserven. Heidecker 2015, S.11.

**Systemdienstleistungen**

Die Bereitstellung von Leistung zur Stabilisierung der Netzfrequenz nennt man Systemdienstleistung. Klassisch wird sie von großen konventionellen Kraftwerken wie Kohlekraftwerken gewährleistet. Sie ist jedoch auch durch regenerative Kraftwerke möglich.

Eine Beteiligung am Regelenergiemarkt erfordert ein Leistungsangebot in der Größenordnung von 5,0 bis 10,0 MW. Dazu werden Biogasanlagen zusammen mit anderen dezentralen Kraftwerken zu „virtuellen Kombikraftwerken“ zur Leistungsbereitstellung zusammengeschlossen (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Simulationsmodell für ein Kombikraftwerk zur zuverlässigen Stromversorgung durch regenerative Energien. <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/broschueren/der-volledurchblick-in-sachen-erneuerbare-energien>, abgerufen am 20.05.2016

Man unterscheidet positive und negative Regelleistung:

**Positive Regelleistung** entspricht der aktiven Bereitstellung von Leistung zu Zeiten hoher Nachfrage, während **negative Regelleistung** dem Absenken der bereitgestellten Leistung durch Reduktion des Kraftwerkbetriebs (Stillstand oder Teillastbetrieb), entspricht. Sinkt die Nachfrage, so wird die Stromeinspeisung reduziert.

Wie auch andere regenerative Kraftwerke können Biogasanlagen ohne großen technischen Aufwand zu negativer Regelleistung beitragen, indem ihr Betrieb eingeschränkt wird (Abregelung). Mit

<sup>169</sup> Heidecker, Bianca (2015): Direktvermarktung und Regelenergieproduktion. Betreiberinformation für Biogasanlagen mit Beiträgen der Marktteilnehmer. 2. Auflage. Hg. v. Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Nördlingen. Fachzentrum für Diversifizierung und Strukturentwicklung. Feuchtwangen.

Biogasanlagen ist es jedoch nach geeigneter Ertüchtigung technisch auch möglich, positive Regelleistung zu erbringen.

### Beitrag von Biogasanlagen zur Systemdienstleistung

Während die Biogasproduktion in den Fermentern kontinuierlich verläuft (eine Regelung desselben durch Einspeisemanagement ist möglich, aufgrund der Verweilzeit von 180 Tagen jedoch nur langfristig steuerbar), lässt sich durch ausreichende Gasspeicher und genügend BHKW<sup>170</sup>-Verstromungseinheiten ein flexibler Verstromungsprozess erreichen:

Bei negativer Regelleistung wird die Verstromung reduziert – das Gas wird in den dafür vorgesehenen Speichern gespeichert anstelle der Verstromungseinheit zugeführt zu werden.

Andersherum wird bei Bereitstellung positiver Regelleistung ein erhöhter Anteil der Einheiten zur Verstromung in Betrieb genommen. Eine Beteiligung von Biogasanlagen an der Minuten- und Sekundärregelreserve<sup>171</sup> ist so technisch bereits umsetzbar, während die besser vergütete Primärregelleistung (Sekundenbereich) durch Biogasanlagen bisher kaum erreicht wird.

Voraussetzung für die Teilnahme am Regelenenergiemarkt sind ausreichende Motoren- und Gasspeicherkapazitäten, sowie eine Fernsteuerung der Anlagen, die meist durch spezialisierte Dienstleister durchgeführt wird. Die Ertüchtigung der Anlagen zur flexiblen Stromerzeugung wird im EEG seit 2012 über eine Flexibilitätsprämie gefördert. Von Neuanlagen wird seit 2014 direkt eine Überbauung der Verstromungs- und Gasspeicherkapazität gefordert (somit erhält auch nur Strom aus 50% der installierten Leistung erhält die Marktprämie).

### T02: Technologieentwicklung

Deutschland ist weltweit führend in der Anzahl der installierten Biogasanlagen. Obgleich der landwirtschaftlichen Biogastechnologie in Deutschland ein geringes Wachstumspotential prognostiziert wird und zudem aufgrund begrenzter verfügbarer Flächen wenig Zubau zur Nutzung von Energiepflanzen möglich ist, bieten sich verschiedene technische Entwicklungsoptionen an, die im Folgenden beschrieben werden.



**Abbildung 1:** Stromversorgung durch ein Kombikraftwerk: <http://www.kombikraftwerk.de/start.html>, <http://www.regmodharz.de/#3>, zuletzt abgerufen am 19.05.2016.

### Anlagentechnik: Prozess-Stufen

Die meisten landwirtschaftlichen Biogasanlagen sind einstufig, d.h. der gesamte Vergärungsprozess findet in einem Behälter statt.

Zweistufige Anlagen ermöglichen den Gärungsprozess in Kompartimente zu trennen, in denen die Teilprozesse unter optimierten Bedingungen stattfinden können. So können die Gasausbeute von Substraten erhöht werden und auch Einsatzstoffe mit komplexer Struktur (wie Stroh) als neue Substratquelle erschlossen werden.

<sup>170</sup> Blockheizkraftwerk

<sup>171</sup> <http://amprion.net/sites/default/files/images/systemdienstleistungen-regelenergie.jpg>, zuletzt abgerufen am 20.05.2016.

### Substratnutzung: Abfallvergärungsanlagen

Wegen zahlreicher hemmender Rahmenbedingungen werden kommunale Abfallstoffe, z.B. aus Biotonnen, bisher nur in wenigen Biogasanlagen als Substrate eingesetzt. Eine Anpassung der Richtlinien und Gesetze (z.B. zur Festlegung, wer kommunale Abfälle nutzen darf) kann dazu beitragen, dass Bestandsanlagen vermehrt die kostengünstig verfügbaren Abfallstoffe zur energetischen Nutzung einsetzen.

### Energiespeicherung: Erdgasnetz

Mit dem Erdgasnetz ist ein deutschlandweit ausgebautes Netz zur Gasspeicherung vorhanden. Biogas-Anlagen, welche die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan und eine Einspeisung ins Erdgasnetz ermöglichen, wurden bis 2014 mit einem Technologiebonus gefördert. Eine Weiterentwicklung dieser Technologie könnte dazu beitragen, den Energieträger Bioerdgas bedarfsgerecht für Strom-, Wärme- bzw. Kraftstoffbereitstellung einzusetzen.

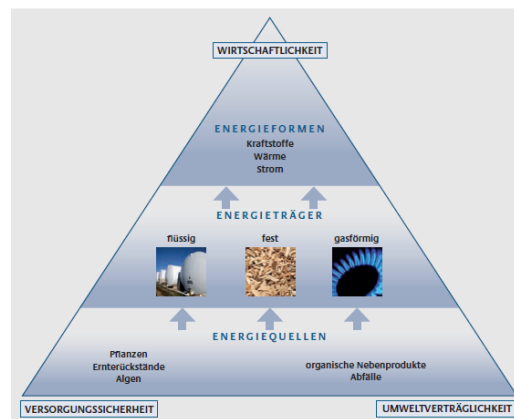


Abbildung 1: Bioenergie-Erzeugung im Rahmen des energiepolitischen Dreiecks

**Abbildung 2:** Bioenergie-Erzeugung im Rahmen des Energiepolitischen Dreiecks.

<https://www.bmbf.de/pub/biooekonomie.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.05.2016.

### Virtuelle Kombikraftwerke

In virtuellen Kombikraftwerken (Abbildung 1) werden mehrere dezentrale Kraftwerke zusammengeschlossen, um gemeinsam nachfragegeführt elektrische Leistung am Markt bereitzustellen und somit ähnlich wie Großkraftwerke am Markt zu agieren. Biogasanlagen können die volatile Stromerzeugung aus Wind- und Solarkraftwerken kompensieren. Forschungsprojekte zeigen, dass regenerative Kombikraftwerke eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien ermöglichen.<sup>172</sup>

### Nationale Forschungsstrategie: BioÖkonomie 2030<sup>173</sup>

Ziel der Bioökonomie ist eine nachhaltige, bio-basierte Wirtschaft. Deutschland soll sich zum Innovationsstandort für Produkte aus biogenen statt fossilen Ressourcen entwickeln und somit Verantwortung für Welternährung, Klima-, Ressourcen- und Umweltschutz übernehmen. Im Rahmen der Strategie sollen Biogas-Konzepte technologisch und organisatorisch verbessert und der Biogassektor effizient gesteuert werden.<sup>174</sup> Grundprinzip der Bioökonomie ist eine Kaskaden- und Koppelnutzung biologischer Rohstoffe, sowie die Verknüpfung von Wertschöpfungsnetzen. Ein Beispiel hierfür bilden Bioraffinerien. Hier werden durch mehrfache stoffliche und energetische Nutzung aus Grünland-Biomasse chemische Grundstoffe für die Düng- und Futtermittelindustrie erzeugt, sowie mittels Biogasanlagen eine energetische Nutzung der biogenen Ressourcen ermöglicht (Abbildung 2).<sup>175</sup>

<sup>172</sup> <http://www.kombikraftwerk.de/start.html>, zuletzt abgerufen am 19.05.2016.

<sup>173</sup> <https://www.bmbf.de/pub/biooekonomie.pdf>, zuletzt abgerufen 18.05.2016.

<sup>174</sup> <http://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/39/Sonderheft-220-html>, zuletzt abgerufen am 19.05.2016.

<sup>175</sup> [https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BMELV/RoadmapBioraffinerien\\_2849044.html](https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BMELV/RoadmapBioraffinerien_2849044.html), zuletzt abgerufen am 19.05.2016.

## **D. Testaufgaben**

In diesem Abschnitt sind die Testaufgaben aus Pretest, Zwischentest und Posttest abgedruckt.

### **D.1. Pre-Test und Post-Test**

Der Pretest und Posttest wurden nach Ossimitz (2000) durchgeführt (vgl. Abbildung 6-4 und Abbildung 6-5). In der Auswertung der Studie wurden jeweils die Ergebnisse der freien Darstellung von Systemzusammenhängen berücksichtigt. Ergebnisse des Multiple Choice Tests wurden nicht in die Auswertung übernommen. Für den Multiple-Choice Test beschrieb Ossimitz (2000), dass das Ableiten aussagekräftiger Aussagen schwierig sei.

### **D.2. Zwischentest**

Der Zwischentest wurde nach Durchsicht der Daten der ersten Studieggruppe IDM16 erstellt. Somit liegen keine Ergebnisse für die Gruppe IDM16 vor. (vgl. Kapitel 7.5.1). Der Test ist mit seinen Aufgaben (Department Store Task und Bathtub Dynamics Task) im Hauptdokument in Kapitel 4.3.1 (Abbildungen 4-3 und 4-4) abgebildet.

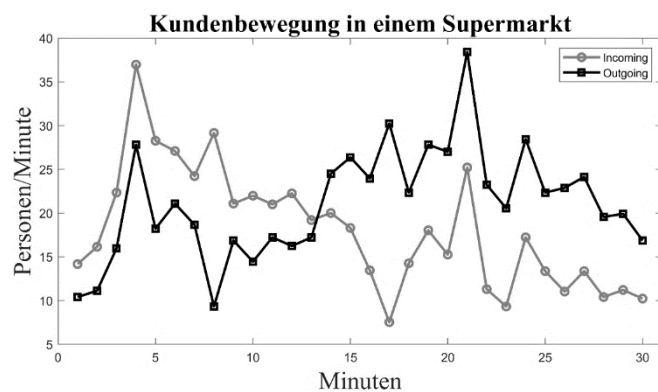
#### *Vorschlag zur Anpassung des Department Store Tasks*

Während in früheren Publikationen der Department-Store-Task als anwendungsfern diskutiert wurde und alternative Kontexte und Titelgeschichten getestet wurden (vgl. Cronin et al. 2009, S. 128ff.), erhielt der Kundenbestand im Supermarkt im Rahmen der Corona-Pandemie einen neuen Anwendungsbezug: Das Betreten von Geschäften war aufgrund von Kontaktbeschränkungen zeitweise nur solange möglich, wie eine Maximalzahl von Kunden im Markt pro Fläche nicht überschritten wurde. Jede\*r Wartende in der Schlange vor einem Geschäft konnte somit Akkumulationsprozesse unmittelbar erleben.

Die Flussgrößen in Form der der Kunden, die den Laden pro Zeiteinheit betraten (Incomings) bzw. wieder verließen (Outgoings) konnte durch Zählen beobachtet werden. Auch das Bilden der Nettorate, um herauszufinden, ob nach einer gewissen Zeit

mehr oder weniger Personen im Geschäft waren als zum vorherigen Messzeitpunkt, war mit einfacher Arithmetik möglich. Ohne den Anfangswert, wie viele Personen sich zu Beginn der Zählung im Supermarkt aufhielten, war jedoch keine Aussage darüber möglich, wie der „Kundenbestand“ im Markt gerade aussah und ob ein Eintreten zulässig war. Um diese Information bereitzustellen, wurden teilweise digitale Anzeigetafeln angebracht.

Für eine Verbesserung des Anwendungskontexts zum Department Store Task schlägt die Forscherin daher vor, selbigen zusammen mit einer entsprechenden Abbildung von einer Anzeigetafel bereitzustellen (vgl. Abbildung D-1), und anhand dieser Tafel die Ermittlung des Bestandes zu erläutern. Zusätzlich kann illustrierend ein Stock-Flow-Diagramm (vgl. Abbildung D-2) eingesetzt werden.



Anzeige des Kundenbestands in einem Supermarkt. (Eigene Aufnahme 07/2020) und exemplarische Darstellung der Kundenbewegung in einem Supermarkt

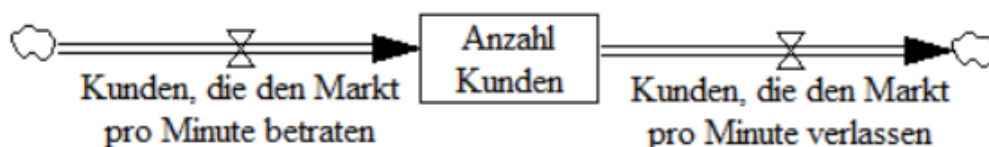


Abbildung D-2: Stock-Flow-Diagramm zur Beschreibung der Kundenbewegung in einem Supermarkt

## E. Transkripte der Modellvorstellung

In diesem Kapitel sind exemplarisch die Transkripte zur Modellvorstellung einiger Teilnehmender dargestellt.

### E.1. Transkriptbeispiel Modellvorstellung PHT16

*Transkript PHT16-N102*

**Dokument: (IC-PHT16-N102, Pos. 1-34)**

N102: Ich mach weiter. Mich hat eins mal die Frage interessiert: Wie sollte so der Anteil aller Flächen in Deutschland . sein, dass es irgendwie gesellschaftlich nachhaltig und verträglich ist. #0:04:14#

So und im Zentrum hab ich mir überlegt. Was wird überhaupt angebaut?

Wie kann man das einordnen?#00:04:22#

Das ist einmal .. direkte Lebensmittel, dann diese Energiepflanzen und Futter für Tiere. Also das ist noch nicht im richtigen Maßstab natürlich. sondern normal aufgeschrieben. Also es können wahrscheinlich. Ich weiß nicht. Vielleicht gibt es noch andere Kategorien, aber mir sind jetzt vor allem erst mal die drei ähm eingefallen.. So. Und die . die werden / und das ist natürlich irgendwie dynamisch. Das wird natürlich irgendwie immer geändert. Also das ist erstmal klar. Je mehr das eine ist, desto weniger kann das andere sein. Das ist durch das Kuchendiagramm dargestellt. #00:05:04#

So jetzt gibts zum Einen die Politik mit der Agrarpolitik und auch ähm die Wirtschaft mit Angebot und Nachfrage. Mit jetzt / jetzt mit dem / mit der Fleischindustrie, aber natürlich auch mit den Energiepflanzen. Also das bezieht sich auf alles quasi #00:05:24#

Und dazwischen da steht ja immer noch der Lobbyismus, der ist ja auch nicht zu vergessen. So. Die machen alle so ihr Ding, so die streiten sich da rum. Und entgegengesetzt ist natürlich hier noch das was eigentlich sein sollte. Das ist so quasi der Ist-Zustand. Aber eigentlich ist hier die Öko-Ethik auf der anderen Seite. Mit dass Deutschland mit relativ technischem Fortschritt ist und es eigentlich als Vorbild sein sollte für den Welthunger. #00:06:00#

So das ist jetzt auf der einen Seite (Blättern) da kommt jetzt noch / und das ist jetzt hier noch mal dargestellt. Die eins. und das ist natürlich auch abhängig das ganze Geschehen vom gesellschaftlichen Bewusstsein. Das ist auch abhängig vom einzelnen Bürger, was der macht, nicht nur die Politik und die Wirtschaft. Und das andere ist noch / ist natürlich auch noch der technische Fortschritt #00:06:25#

Dann .. komm ich zu den Zeitdiagrammen. Dann bin ich mal so . so ganz kühn davon ausgegangen.

Da hab ich jetzt einmal die .gesellschaftliche Komponente. Jetzt das mal . ich geh mal davon aus, dass die Futterpflanzen nen sehr hohen Anteil haben. Ich weiß es nicht, aber ich geh mal davon aus.

Und dass wenn das immer weniger wird. Und es wird glaub ich / ich stell mal die kühne Behauptung auf, dass es immer mehr / weniger mit dem Fleisch , mit der Massentierhaltung ist jetzt mit dem halt eben in-vitro Fleisch oder was da noch kommt vielleicht . denk ich dass das mit den Futterpflanzen immer mehr zurückgeht. Und dann ist mehr Platz für die Energiepflanzen. Und andererseits noch der technische Fortschritt. Je weniger Energiepflanzen man braucht, desto .. / also durch die Anlagen, die man mehr (unv.) machen kann, desto mehr ähm (3s) ja /desto mehr Platz hat man auch für andere Dinge.

Ja. Das wars.#00:07:40# (IC-PHT16-N102(1), Pos. 1-34)



## E.2. Transkriptbeispiel Modellvorstellung IP17

A372: Transkripte Modellvorstellung IDM17

*IDM17-Gruppe 1*

**Fall:** IDM16-L956 (in einer Gruppe mit IDM17-H959 und IDM17-W696)  
**Dokument:** IDM17\_Gp1\_fenster, Pos. 1-154

L956: #00:00:23# Ich fang mal an. Ich hatte am Anfang die Fragestellung inwiefern ist es möglich Biogasanlagen mit Blick auf die Versorgungssicherheit wirtschaftlich zu betreiben? Und habe dann einige (..) ähm ja Punkte dazu rausgearbeitet, die da Einfluss drauf nehmen könnten. Hier seht ihr ja das Modell. Da sind unter anderem hier zum Beispiel Förderungsgelder, die dann natürlich sich darauf auswirken, dass sich der Marktpreis wahrscheinlich erhöht, weil das ja irgendwie refinanziert werden muss. Dann .. ähm der Gewinn, wird dadurch beeinflusst von der Biogasanlage. #00:01:19# Wenn ich negative Regelenergie habe und dann ne höhere Vergütung dafür bekomme, dann hab ich auch einen höheren Gewinn. Dann geh ich hin und sage, wenn ich ne höhere Bedarfskonstanz habe, dann sinken meine Stromgestehungskosten, genauso wenn mein Substrat einen hohen Energiegehalt hat. Niedrige Stromgestehungskosten sorgen wieder für einen höheren Gewinn. Genau dabei ist zu sehen, dass sich eigentlich keine// #00:01:51#

H959: //Ist das richtig? Stromerzeugungskosten, wenn die hoch sind. Ah ja, ja. Wenn die niedrig sind, (.) ja, das ist okay (unv). Ja #00:02:04#

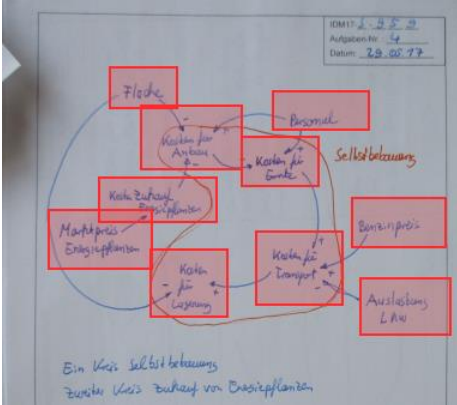
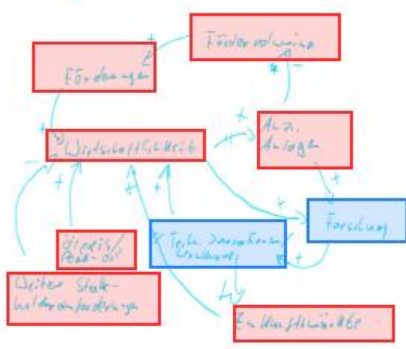
L956: So und wenn man halt sehen, sind halt alles so Wirkungsketten, die aber auch hauptsächlich immer dann an sich dann von externen Faktoren abhängen, zum Beispiel kann ich da irgendwie nach Substraten suchen, die nen höheren Energiegehalt haben, aber das wird halt dann durch das Modell nicht mehr abgedeckt#00:02:18# Also, könnte man ja endlos weiterführen die Forschung und so weiter. Genauso Förderungsgelder, die sind jetzt auch nicht von anderen / oder hab ich jetzt nicht herausgestellt, dass sie von anderen Faktoren innerhalb des Modells beeinflusst sind. Sondern die sind einfach von außen vorgegeben und verändern sich dann halt, ja, anhand politischer Vorgaben oder anhand der Entwicklung, wenn es positive Entwicklung gibt und das dazu führt, dass vielleicht die Anlagen günstiger betrieben werden können, dann immer noch mit normalem Gewinn und wenn der Gewinn dann ausreichend ist, dann senkt man die vielleicht #00:02:38#  
Genau.

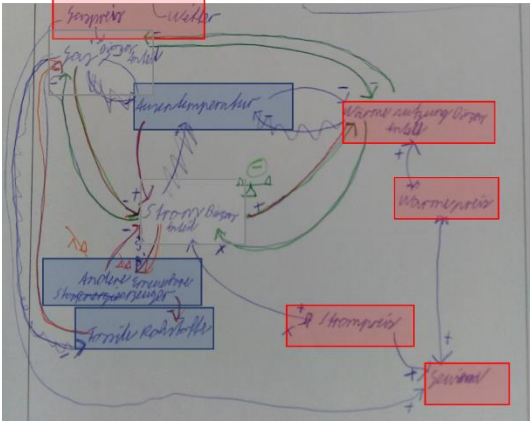
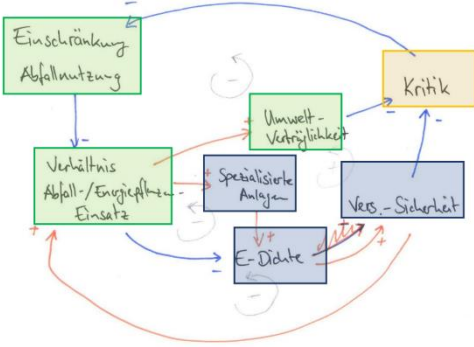
L956: Gut (unv.) Was habt ihr so gemacht?#00:03:04# [...]

## F. Qualitative Inhaltsanalyse

### F.1. Codedefinitionen

#### Codedefinitionen zur Hauptkategorie Vernetzung von Perspektiven

Subkategorie	Codedefinition	Ankerbeispiel
<p>eine Perspektive</p>	<p>Modelle, deren Inhalt sich nach gemeinsamer Einordnung von Modell und Modellvorstellung auf eine Perspektive beschränkt. Die Nutzung von Inhalten aus nur einem Informationstext kann die Codierung mit dieser Subkategorie bestätigen.</p>	<p>IDM17-S959</p>  <p>S959: Da hab ich mir erst mal ursprünglich rausgeschrieben ähm welche Kostenpunkte die Selbstbebauung oder die Stromgestehungskosten überhaupt beeinflussen. Das wär einmal der Zukauf von den Energiepflanzen, die Kosten für den Anbau, die Kosten für die Ernte, Kosten für den Transport und die Kosten für die Lagerung. (IDM17_Gp2_tuer, Pos. 13)</p>
<p>Haupt- und Nebenperspektive</p>	<p>Modelle, bei denen eine Hauptperspektive mit thematischer Nähe zum eigenen Studienfach und eine untergeordnete Nebenperspektiven vertreten sind. Einschätzung erfolgt durch Analyse der Gewichtung von Perspektiven in Modell und Modellvorstellung.</p>	<p>IDM16-W041</p>  <p>S978: [...] Und dann aber (.) sobald irgendwas steigt, steigt natürlich auch das Investitionsvolumen. Und wenn das Investitionsvolumen steigt, steigt natürlich auch die Forschungsintensität (.) ähm dann erhöht sich die Wirtschaftlichkeit der Anlagen und dann verbreiten sich auch die Anlagen dann natürlich immer stärker. (IDM16_Gruppe1_Fokus, Pos. 4)</p>

Subkategorie	Codedefinition	Ankerbeispiel								
zwei Perspektiven	<p>Modelle, in denen zwei Perspektiven vernetzt werden. Indikator hierfür ist der Einsatz von Informationen aus mindestens zwei verschiedenen Informationstexten. Die Codierung mit dieser Ausprägung wird auch vorgenommen, wenn die Perspektiven unterschiedlich gewichtet sind, aber kein Erklärung für die Gewichtung über die sekundären Daten möglich ist.</p>	<p>IP17-A377</p>  <p>A377: [...] Dann habe ich über den Strom hab ich halt noch die Auswirkung auf andere Stromerzeuger. Grad hat halt erneuerbare andere. Dann halt auch wieder was die für Auswirkungen haben auf fossile Rohstoffe. #00:05:01# Ja und dann halt so ein wenig draußen noch die Einzel/ Teilpreise im Prinzip, von den Anbieter, wie sich die dann ein bisschen auswirken immer auf den Gewinn (Transkript_IP17_Gruppe2, Pos. 8)</p>								
drei oder mehr Perspektiven	<p>Modelle, in denen drei oder vier Perspektiven vernetzt sind.</p>	<p>Ankerbeispiel: MSE16-W123</p>  <p>Zum einen habe ich hier mal Verhältnis von Abfall zu Energiepflanzeneinsatz. Wenn man mehr Abfallpflanzeneinsatz verwendet in den Biogasanlagen, steigt die Umweltverträglichkeit. Dadurch gibt's weniger Kritik an den Biogasanlagen. Stichwort Teller statt Tank. [...]. Wenn's mehr Kritik gibt könnte es sein oder bin ich davon ausgegangen, dass die Politik vielleicht mal irgendwann die Einschränkung der Abfallnutzung lockert, weil bisher ja die Abfallnutzung ja sehr eingeschränkt ist, eben. Wenn die gelockert wird, steigt das Verhältnis von Abfall zu Energiepflanzen wieder. #00:36:20# Allerdings ist die Energiedichte von Abfall/ Pflanz äh Abfall geringer als von den Energiepflanzen. (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 53)</p>								
Legende:	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="687 1776 778 1832">■</td> <td data-bbox="839 1787 979 1821">Gesellschaft</td> <td data-bbox="1107 1776 1198 1832">■</td> <td data-bbox="1267 1787 1362 1821">Technik</td> </tr> <tr> <td data-bbox="687 1843 778 1899">■</td> <td data-bbox="839 1854 932 1888">Umwelt</td> <td data-bbox="1107 1843 1198 1899">■</td> <td data-bbox="1267 1854 1378 1888">Wirtschaft</td> </tr> </table>		■	Gesellschaft	■	Technik	■	Umwelt	■	Wirtschaft
■	Gesellschaft	■	Technik							
■	Umwelt	■	Wirtschaft							

:

*Codedefinitionen für weitere Kategorien*

Kategorie	Ausprägung	Art der Kategorie	kurze Definition	Codebeispiel
Perspektiven im Modell	G	thematisch	Modellgrößen, die thematisch Gesellschaft/Politik zuzuordnen sind	Ethik (Modell H959)
Perspektiven im Modell	T	thematisch	Modellgrößen, die thematisch dem Bereich Technologie zuzuordnen sind	technische Weiterentwicklung (Modell H680)
Perspektiven im Modell	W	thematisch	Modellgrößen, die thematisch dem Bereich Wirtschaft / Marktentwicklung zuzuordnen sind	Nachfrage, wirtschaftlicher Erfolg, Erzeugungskosten (Modell M042)
Perspektiven in der Modellvorstellung	G2	thematisch	Beiträge der Modellvorstellung, die thematisch Gesellschaft/Politik zuzuordnen sind	W123: [...] Dadurch gibt's weniger Kritik an den Biogasanlagen. Stichwort Teller statt Tank. Oder Tank statt Teller. [...] (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 53)
Perspektiven in der Modellvorstellung	U2	thematisch	Beiträge der Modellvorstellung, die thematisch Umwelt / Ressourcenschutz zuzuordnen sind	H959: [...] Und die Ressourcenknappheit, die fordert eigentlich auch die nachwachsenden Rohstoffe zu verwenden.(IDM17_Gp1_fenster, Pos. 13)
Perspektiven in der Modellvorstellung	T2	thematisch	Beiträge der Modellvorstellung, die thematisch dem Bereich Technologie zuzuordnen sind	A379: [...] dass die Netzstabilität eben sehr davon abhängt wenn / weils immer auf nem gewissen Wert gehalten werden MUSS, zu einer Frequenz von fünfzig Hertz plus minus null komma zwei Hertz [...] (Transkript_IP17_Gruppe1, Pos. 176)
Perspektiven in der Modellvorstellung	W2	thematisch	Beiträge der Modellvorstellung, die thematisch dem Bereich Wirtschaft / Marktentwicklung zuzuordnen sind	L956: [...]Niedrige Stromgestehungskosten sorgen wieder für einen höheren Gewinn.[...] (Transkript_IDM17_Gruppe1, Pos. 6)
Perspektiven im Modell	<b>unklare Zuordnungen vorhanden</b>	Analytisch	Modellgrößen, die sich nicht eindeutig einer Perspektive zuordnen lassen	z.B. aufgrund einer Einbindung in mehrere Themenfelder
Anzahl Perspektiven im Modell	<b>#Perspektiven Modell</b>	Analytisch	Summe aus Perspektiven im Modell	
Anzahl Perspektiven in der Modellvorstellung	<b># Perspektiven Modellvorstellung</b>	Analytisch	Summe aus Perspektiven in der Modellvorstellung	
	<b>Vernetzung Perspektiven</b>	analytisch	Einordnung der insgesamt vertretenen Perspektiven unter Einschätzung der inhaltlichen Gewichtung	Weitere Darstellung in Tabelle 11-2 (Vernetzung von Perspektiven) im Hauptdokument.
Aggregation	-	evaluativ	Modelle, die sehr detaillierend - also nicht aggregiert erstellt sind	
Aggregation	0	evaluativ	Modelle, die (bezogen auf die zugrundeliegende Fragestellung) keine Besonderheit in der Aggregationstiefe aufweisen	
Aggregation	+	evaluativ	Modelle, die aggregiert erstellt sind (und von der expliziten Fragestellung abstrahieren)	

Anhang F - Qualitative Inhaltsanalyse

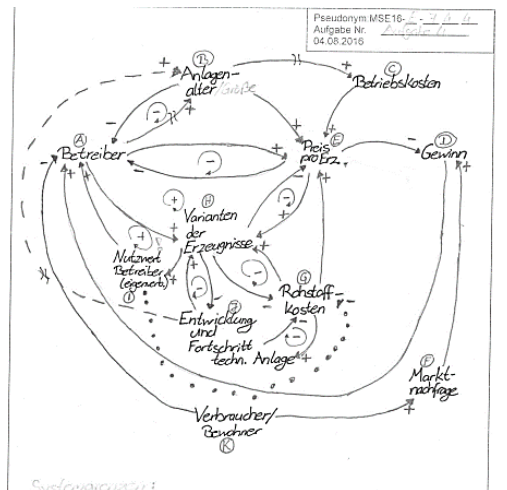
Kategorie	Ausprägung	Art der Kategorie	kurze Definition	Codebeispiel
Erklärung der Modellstruktur	0	analytisch		
Erklärung der Modellstruktur	1	analytisch		
Erklärung der Modellstruktur	2	analytisch		
Erklärung der Modellstruktur	3	analytisch		
Ursprung Modellgrößen	nur Text	thematisch	wird codiert, wenn die im Modell vorhandenen Größen alle den bereitgestellten Textdokumenten entnommen wurden	
Ursprung Modellgrößen	Text + Domäne	thematisch	wird codiert, wenn spezifisches Fachwissen eingebracht wird, um Zusammenhänge zu erschließen	
Ursprung Modellgrößen	Text + Allgemein	thematisch	wird codiert, wenn Allgemeinwissen oder Annahmen eingebracht werden, um Zusammenhänge zu erschließen	
Interaktion	aktiver Zuhörer	thematisch	Beiträge, die aktives Zuhören (ohne inhaltliche Intervention) anzeigen	
Interaktion	Moderation	thematisch	Beiträge, welche die Gesprächsführung beeinflussen	
Interaktion	inhaltliche Beiträge	thematisch	inhaltliche Beiträge zu Modellen anderer Teilnehmender	
Interaktion	methodische Beiträge	thematisch	methodische Beiträge zu Modellen anderer Teilnehmender	
Interaktion	methodische Fragen	thematisch	Fragen zu den Beiträgen anderer Teilnehmender, die sich auf die Modellierungsmethodik beziehen	H028: Muss da nicht Minus sein?#00.05:15# (IDM16_Gruppe2_Fokus2, Pos. 32) [Frage zur Markierung der Relationspfeile]
Interaktion Gruppendiskussion	inhaltliche Fragen	thematisch	Fragen zu den Beiträgen anderer Teilnehmender, die sich auf den im Modell dargestellten Inhalt beziehen	E373: Was heißt das? [Frage zum Begriff Volatilität] E369: Volatile Stromversorgung. Das heißt wenn du Solaranlagen, die funktionieren ja auch nur wenn die Sonne scheint. Oder Gezeitenkraftwerke funktionieren auch nur wenn / wenn eben// (IPGruppe_Stunde1_Gruppe3, Pos. 20-21)
Interaktion Gruppendiskussion	Probleme des eigenen Modells	thematisch	Benennung von Problemen im eigenen Modell	weiter spezifiziert in Kategorie "Herausforderungen"
Interaktion Gruppendiskussion	keine Beiträge außer zum eigenen Modell	thematisch	keine aktive Interaktion außer der Vorstellung des eigenen Modells	Sammelkategorie, wenn keine Probleme benannt wurden
Herausforderungen	inhaltliche Herausforderung	thematisch	codiert inhaltliche Herausforderungen, die Teilnehmende selbst benennen	H808:[...] ich weiß über Photovoltaik wesentlich mehr wie darüber oder über Windkraft, über Atomkraft, Kohle mh ich wusst ehrlich gesagt nicht mal, dass wir so viel / dass es so viele Biogasanlagen in Deutschland gibt. Hätte ich eher weniger eingeschätzt. #00:43:56# (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 68)

Herausforderungen	Methodische Herausforderung	thematisch	codiert methodische Herausforderungen, die Teilnehmende selbst erkennen	z.B. Abstecken der Systemgrenzen, Formulierung der Leitfrage: W123: [...] Was mir auch gefehlt hat war so was ich von allen anderen Modellen oder ja Systemen, Vereinfachungen und so gibts ja immer irgendwelche Bedingungen. Es ist ja nicht nur so - wenn jetzt das ist, dann ändert sich das in dem Grad, sondern es sind ja immer irgendwelche Bedingungen dadrin eigentlich. [...] (MSE16-Feedback, Pos. 20)
-------------------	-----------------------------	------------	---	---

## F.2. Fallzusammenfassungen

In diesem Abschnitt sind Fallzusammenfassungen einer Auswahl der zwölf Fälle dargestellt, auf deren Basis das Kategoriensystem entwickelt wurde (vgl. Kuckartz 2018, S. 101ff.). Die Auswahl der Gruppen innerhalb des Studiengangs erfolgte zufällig. Gruppen mit Personen, die nicht der Teilnahme zugestimmt hatten, wurden dabei von der Zufallsauswahl ausgeschlossen.

### Fallzusammenfassung MSE16-E744



#### Fallzusammenfassung:

IDM17-E744 arbeitet mit den Informationen aus den Bereichen Wirtschaft und Technologie

- wählt als "technisch angehauchter Mensch" aktiv ein wirtschaftliches Thema:

*"Bewusst hab ich jetzt mal die Technologie an die zweite Stelle gesetzt, weil wir eigentlich immer technologisch unterwegs sind und ich hab mal gedacht ich guck das mal von der anderen Seite an hauptsächlich. Dennoch als technisch angehauchter Mensch kann man die Technik immer nie außer Acht lassen, deswegen hab ich das auch noch mit dabei.#00:01:22# (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 2)"*

- Leitfrage: wirtschaftliche Attraktivität von Biogasanlagen (OHNE Subventionen)
- findet zur Wirtschaftlichkeit ohne Subvention wenig Informationen im Text
- im Modell und in der Vorstellung Betreiber als zentrale Größe, dem der Preis/Gewinn wichtig ist
- Erzeugnisvarianten als Modellgröße, die verschiedene Substrate zusammenfassen
- beschreibt Modellstruktur ausführlich mit desto-desto Sätzen
- verwendet den Begriff Regulation zum Beschreiben von Rückkopplungen, die im Modell auch markiert sind, und diskutiert eine selbstverstärkende Rückkopplung

- Knappheit / politische Deckelung z.B. von Mais als Auslöser von Entwicklungsbedarf (#2)
- Erkenntnis, das ohne Subvention vom Staat nicht funktioniert (#12)
- berücksichtigt, dass Entwicklung "nicht immer Früchte trägt" (#8)

### Modelldiskussion:

- thematisiert Herausforderung beim Ziehen der Systemgrenze (#22), als Reaktion auf W122

### Analyse

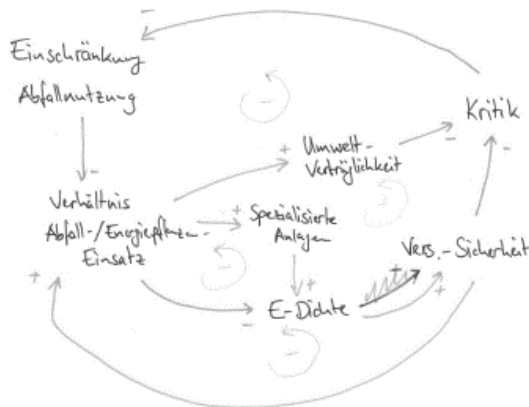
- Ageing Chain (#8)
- Bewusstsein / Problematik Modellgrenzen (#22)

### Notizen

E477: Gut ich hab mir den ganzen Tag relativ schwer getan bei der ganzen Geschichte. Für mich wirkt das ein bisschen unübersichtlich. Liegt wahrscheinlich dann an meiner eigenen Darstellung. Ich machs wahrscheinlich auch ein bisschen zu unübersichtlich. #00:51:47#  
Und mir fehlt so ein bisschen. Nur Wörter sind ja gut. Und das ist dann prägnant mit einem Schlagwort. Aber man kann nur die Wörter oder das Verhalten auf zwei verschiedene Art und Weisen interpretieren. Und da fiel mir ganz ganz schwer bei dem Setzen der Vorzeichen, ob ich das jetzt positiv mein. ob der Kreis, ob ich da jetzt ein Plus setzen soll. [...]. #00:52:21# (MSE16-Feedback, Pos. 12-13)

### Fallzusammenfassung MSE16-W123

### Modell



### Fallzusammenfassung

- Die Modellvorstellung beginnt mit der Unsicherheit, ob die Leitfrage "richtig gewählt war" (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 53)
- Es wird explizit die finanzielle Seite ausgelassen.  
Wie können Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit von Biogasanlagen in Einklang gebracht werden. Ähm. Das Finanzielle dabei mal völlig außer Acht gelassen. #00:35:32# (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 53)
- Ausgehend vom Verhältnis Abfall zu Energiepflanzeneinsatz wird das Modell entwickelt
- gesellschaftliche Größen werden über Kritik, Eingriffsoptionen der Politik thematisiert.

- Rückkopplungen werden diskutiert, gleichzeitig eine Unsicherheit in der Benennung von Polaritäten benannt

### Modelldiskussion

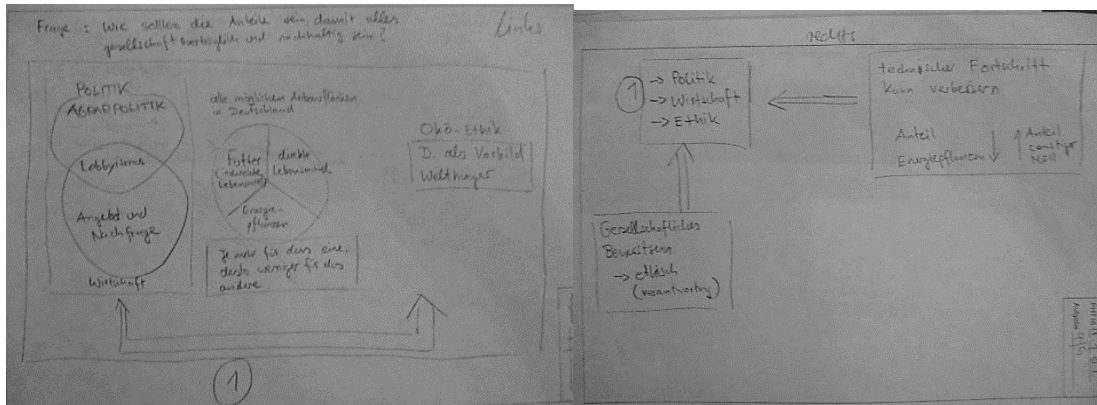
Modell wird von E744 gelobt,

*E744: Ich find du hast's gut gemacht. Ich fand jetzt nicht dass das schlecht ist, dass da weniger drauf steht.#00:38:34# (MSE16\_Aufnahme\_Modell\_1, Pos. 58)*

- ansonsten keine aktive Beteiligung

### Fallzusammenfassung PHT16-N102

#### Modell



#### Fallzusammenfassung

- Leitfrage: Flächenanteile für gesellschaftlich nachhaltige Nutzung
- zunächst allgemeinen Anbau betrachtet: Lebensmittel, Energiepflanzen, Viehfutter
- Dynamik als wechselseitige Abhängigkeit benannt, die im dargestellten Tortendiagramm nicht direkt abgebildet ist
- "[...]und das ist natürlich irgendwie dynamisch. Das wird natürlich irgendwie immer geändert. Also das ist erstmal klar. Je mehr das eine ist, desto weniger kann das andere sein. Das ist durch das Kuchendiagramm dargestellt." (PHT16\_Modelle\_G2, Pos. 6)*

- Politik und Wirtschaft als weitere Einflussfelder, "Öko-Ethik", und gesellschaftliches Bewusstsein

#### Modelldiskussion

- keine Beiträge

#### Analyse

- weit ausschweifende Zusammenhänge erkannt
- eher als Vorstufe zur Modellierung mit Wirkungsdiagrammen: Bull's eye Diagramm (Pruyt 2013)



### F.3.Zusammenhangsanalyse

*Zusammenhang Erklärung der Modellstruktur und ..*

		Ursprung der Modellgrößen		
		nur Text	Text und Fachwissen	Text und Allgemeinwissen
Erklärung Modellstruktur	Stufe 0	3	0	1
	Stufe 1	3	2	1
	Stufe 2	1	5	0
	Stufe 3	5	7	1

		Aggregationsebene		
		neutral (0)	detailliert (-)	aggregiert (+)
Erklärung Modellstruktur	Stufe 0	3	1	0
	Stufe 1	2	3	1
	Stufe 2	5	0	2
	Stufe 3	10	0	3

		Beiträge zum eigenen Modell	
		ja	nein
Erklärung Modellstruktur	Stufe 0	2	2
	Stufe 1	6	0
	Stufe 2	7	0
	Stufe 3	11	2

		benannte Probleme	
		ja	nein
Erklärung Modellstruktur	Stufe 0	1	3
	Stufe 1	2	4
	Stufe 2	3	4
	Stufe 3	7	6

*Zusammenhang Vernetzung Perspektiven und weitere Kategorie*

		Ursprung der Modellgrößen		
		nur Text	Text und Fachwissen	Text und Allgemeinwissen
Vernetzung Perspektiven	eine Perspektive	1	1	0
	Haupt- und Nebenperspektive	0	4	1
	zwei Perspektiven	7	4	2
	drei oder mehr Perspektiven	4	5	1

		Aggregationsebene		
		neutral (0)	detailliert (-)	aggregiert (+)
Vernetzung Perspektiven	eine Perspektive	0	2	0
	Haupt- und Nebenperspektive	5	0	0
	zwei Perspektiven	8	0	4
	drei oder mehr Perspektiven	7	2	2

**Beiträge zum eigenen Modell**

		ja	nein
Vernetzung Perspektiven	eine Perspektive	2	0
	Haupt- und Nebenperspektive	5	0
	zwei Perspektiven	11	1
	drei oder mehr Perspektiven	8	3

		benannte Probleme	
		ja	nein
Vernetzung Perspektiven	eine Perspektive	1	1
	Haupt- und Nebenperspektive	1	4
	zwei Perspektiven	6	6
	drei oder mehr Perspektiven	5	6

*Zusammenhang Ursprung Modellgrößen, Aggregation*

		Ursprung der Modellgrößen		
		nur Text	Text und Fachwissen	Text und Allgemeinwissen
Aggregation	neutral (0)	8	9	3
	detailliert (-)	3	1	0
	aggregiert (+)	1	4	1

*Zusammenhang thematische Perspektive und weitere Kategorien*

**G – Gesellschaft, U – Umwelt, T – Technik, W – Wirtschaft**

Thematische Kategorien beziehen sich auf die Codierung der Modelle  
 Perspektivkombination (U,G) bezieht sich auf in der Vorstellung benannte Perspektiven  
 Da in den Modellen unsichere/Mehrfach-Zuordnung mit "unklare Zuordnung" codiert sind, ist die Fallzahl bei der Betrachtung der Modellvorstellung in der Regel höher

Perspektive im Modell	G	U	T	W
G	11	5	7	6
U	5	18	14	13
T	7	14	24	19

		betrachtete Perspektive(n)				
		U	G	U und G	W	T
Erklärung Modellstruktur	Stufe 0	3	2	3	3	3
	Stufe 1	3	2	1	4	3
	Stufe 2	3	3	2	5	6
	Stufe 3	9	2	2	11	12

		betrachtete Perspektive(n)				
		U	G	U und G	W	T
Vernetzung Perspektiven	eine Perspektive	1	1	1	1	0
	Haupt- und Nebenperspektive	0	2	0	5	5
	zwei Perspektiven	6	5	3	8	8
	drei oder mehr Perspektiven	11	3	4	9	11

		betrachtete Perspektive(n)				
		U	G	U und G	W	T
Aggregation	neutral (0)	5	10	6	18	18
	detailliert (-)	1	3	1	3	2
	aggregiert (+)	3	5	5	2	4

		betrachtete Perspektive(n)				
		U	G	U und G	W	T
Ursprung Modellgrößen	Text	9	3	1	9	9
	Text + Domänenwissen	8	6	3	11	11
	Text+ Allgemeinwissen	1	2	1	3	4

		betrachtete Perspektive(n)				
		U	G	U und G	W	T
Ursprung Modell- größen	Text	9	3	1	9	9
	Text + andere Quelle	9	8	4	14	15

		betrachtete Perspektive(n)				
		U	G	U und G	W	T
benannte Proble- me	ja	9	10	8	12	13
	nein	nein	9	1	0	11

## G. Typenbildung

### G.1. Beschreibung Merkmalsausprägungen

Fallbezogene Bewertung der Merkmalsausprägung (nach Kuckartz 2018, S. 155f.)

<b>Entwicklung der Modellierungskennnisse</b>		
<b>Stufe</b>	<b>Benennung</b>	<b>Erläuterung</b>
1	kein Einsatz von Wirkungsdiagrammen	Während der Intervention, sowie in der Rahmenerhebung werden keine Wirkungsdiagramme eingesetzt oder der Einsatz erfolgt an einer Stelle ansatzweise mit fehlerhafter Methodik.
2	schrittweiser Einsatz von Wirkungsdiagrammen bis Post-Test	In der Intervention werden Wirkungsketten ohne Rückkopplungen eingesetzt. Rückkopplungen werden erst im Post-Test identifiziert.
3	in der Intervention lernend I	In der Intervention werden Wirkungsdiagramme mit Rückkopplungen eingesetzt. Es wird jedoch nicht explizit auf die Rückkopplungen hingewiesen (graphisch bzw. in der Modellvorstellung). Im Post-Test wird meist ein Wirkungsdiagramm erstellt.
4	in der Intervention lernend II	In der Intervention werden Wirkungsdiagramme mit Rückkopplungen eingesetzt. Auf die Dynamik der Rückkopplungen wird graphisch visualisiert und /oder mündlich eingegangen. Im Post-Test wird meist ein verhaltensklärendes Modell (z.B. Wirkungsdiagramm) genutzt.
5	Vorkenntnisse vernetzend	Bereits im Pre-Test werden nichtlineare Zusammenhänge mit nichtlinearen Graphen oder Formen der verhaltensklärenden Modellierung abgebildet. In der Intervention wird ein Wirkungsdiagramm mit markierten Rückkopplungen erstellt. Meist wird dabei bei der Konzeption des Modells auf Vorerfahrung in der Modellierung zurückgegriffen. Im Post-Test werden die Zusammenhänge durch ein verhaltensklärendes Modell (Wirkungsdiagramm oder Blockschaltdiagramm) abgebildet.

<b>Perspektivvernetzung im Interventionsmodell</b>		
<b>Stufe</b>	<b>Benennung</b>	<b>Erläuterung</b>
1	eine Perspektive	Modelle, bei denen in der Modellierung und Modellvorstellung eine Perspektive betrachtet wird.
1,5	Haupt- und Nebenperspektive	Modelle, bei denen eine Hauptperspektive prägend ist, welcher der/die Modellierer/in die zentral berücksichtigt und mit der er/sie sich fachlich "identifiziert". Eine zweite Perspektive wird der Hauptperspektive untergeordnet.
2+	zwei Perspektiven	Modelle, bei denen in der Modellierung und Modellvorstellung zwei oder mehr Perspektiven berücksichtigt sind und miteinander vernetzt werden.

Codes zwei Perspektiven und drei oder mehr Perspektiven aus der Inhaltsanalyse sind zusammengeführt (vgl. Kapitel 7.5), um auch bei Modellen mit unterschiedlicher Aggregationstiefe differenzierende Merkmale (vgl. Kuckartz 2018, S. 154) zu erhalten.

### Merkmalsraum Typus 1

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach Kat.)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennnis <sub>sc</sub>	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennnis <sub>sc</sub>
IDM16-S359	1	Wie beeinflusst der Bedarf an Regelleistung die installierte Leistung von Biogasanlagen?	natürliches Potential und Rohstoffe als Umweltbezogen eingestuft	2+	CLD	3	CLD	5	IDM16-S359 untersucht, wie der Bedarf an Regelleistung die installierte Leistung von Biogasanlagen beeinflusst. Es werden technische, wirtschaftliche und ressourcenbezogenen Größen in ähnlichem Umfang ins Modell integriert und miteinander vernetzt.	Bereits im Pre-Test kommt ein Wirkungsdiagramm zum Einsatz (dass methodisch vorab nicht bekannt war). Das Interventionsmodell umfasst ein umfangreiches Wirkungsdiagramm mit Rückkopplungen und identifizierten Zeitverzögerungen; zudem werden explizit eine Kapazitätsgrenzen und die Identifikation einer Zielgröße markiert. Das Post-Test Modell ist als Wirkungsdiagramm dargestellt, wobei eine direkte Rückkopplung auf die Bestandsgröße der Fische eingezeichnet ist. Rückkopplungen sind nicht explizit benannt.
IDM17-W696	1	Inwieweit kann am Beispiel von Biogasanlagen das Ziel der Versorgungssicherheit unter Berücksichtigung der Umweltbilanz verfolgt werden?	enge Vernetzung verschiedener Perspektiven	2+	Blockschaltendiagramm	3	Blockschaltendiagramm	5	Die Fragestellung nach Versorgungssicherheit unter Berücksichtigung der Umweltverträglichkeit wird beantwortet. Das Modell umfasst eine technische und eine umweltbezogene Perspektive. Letztere ist in weniger Modellgrößen zum Ausdruck, ist jedoch der Fragestellung gemäß mit der technischen Perspektive vernetzt	Im Pre-Test kommt ein Blockschaltendiagramm zum Einsatz, dass mit formaler Darstellung arbeitet (Funktion abhängig von mehreren Variablen) arbeitet. Das Interventionsmodell enthält markierte Rückkopplungen; die Entwicklungspfade zeigen linearen oder „saturierenden“ Verlauf. Es ist explizit notiert, an welcher Stelle Modellvereinfachungen angenommen werden. Im Post-Test wird erneut die Darstellung mittels Blockschaltendiagramm eingesetzt, wobei eine Rückkopplung erfasst ist. Insgesamt erfolgt ein Zugriff auf die methodischen Vorkenntnisse.



**Merkmalsraum Typus 2**

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe Ausprägung)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennntni	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennntni
IDM16-H028	2	Wie wirken sich (politische, technologische und) betriebswirtschaftliche Faktoren auf den Ausbau der Biogasanlagen-Kapazität aus?	vorwiegend wirtschaftlich	1,5	Graph nichtlinear	2	CLD	5	IDM16-H028 formuliert ausgehend von einer ursprünglich politisch, technologisch und wirtschaftlichen Betrachtungsweise ein Modell, das im Rahmen des deutschen Energiemarkts den Ausbau der Biogasanlagenkapazität untersucht. Es werden vorwiegend wirtschaftliche Zusammenhänge eingebracht. Die technische Komponente der Forschung und Entwicklung ist eng mit der Wirtschaftlichkeit verzahnt.	IDM16-H028 setzt im Pre-Test nichtlineare Zeitverläufe ein, die parallel zueinander angeordnet und aufeinander bezogen sind. auch nichtlineare, optimumssuchende Zusammenhänge sind erfasst. In der Intervention wird ein Wirkungsdiagramm mit zahlreichen Modellgrößen erstellt. Das Modell im Post-Test ist stark vernetzt, ohne dass Rückkopplungen markiert sind.
IDM16-S978	2	Wie wirken sich politische Entscheidungen (z.B. Subventionen) auf die Technologieentwicklung von Biogasanlagen aus?	explizit wirtschaftliches Modell	1,5	verzweigend / Entscheidungsbaum	2	CLD	4	IDM16-S978 untersucht, wie sich politische Entscheidungen (Subventionen) auf die Technologieentwicklung auswirken. Es wird ein Modell erstellt, das die Konkurrenzsituation verschiedener Technologien bei der Subventionierung und technologischen Weiterentwicklung aufzeigt. Das Modell ist allgemein gehalten und bildet keine spezifischen Informationen der Biogastechnologie ab. So kann die technische Entwicklung als Teil des wirtschaftlichen Zyklus gesehen werden, in dem die Betrachtung stattfindet.	Im Pre-Test zeichnet IDM16-S978 ein fallunterscheidendes Diagramm. In der Intervention wird ein Wirkungsdiagramm erstellt, das stark vernetzt ist, ohne dass Rückkopplungen explizit markiert sind. Im Post-Test wird ein Wirkungsdiagramm erstellt, in dem keine Rückkopplungen markiert sind

## Anhang G - Typenbildung

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennntni	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennntni
IDM16-W041	2	Was ist die Zukunft von Biogasanlagen in Abhängigkeit von wirtschaftlichen und technologischen Entwicklungen?	W überwiegt (aber Fragestellung enthält auch T)	1,5	Graph nichtlinear (Räuber-Beute)	2	CLD	5	Das Modell von IDM16-W041 beschäftigt sich mit der langfristigen Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. Die meisten Modellgrößen sind wirtschaftlicher Art, wobei auch der Ölpreis als externe Einflussgröße ins Modell eingebracht wird. Forschung und technologische Innovationen sind als Treiber der Wirtschaftlichkeit zentral zwischen wirtschaftlichen Größen eingebunden.	Im Pre-Test stellt IDM16-W041 ein Räuber-Beute-Modell dar. Das Interventionsmodell umfasst ein Wirkungsdiagramm, das Vernetzungen enthält, jedoch keine explizite Markierung der Rückwirkungen umfasst. Auch zeitverzögerte Größen sind eingezeichnet. Im Post-Test wird ein Wirkungsdiagramm dargestellt, das Zusammenhänge korrekt vernetzt, ohne explizit Rückwirkungen zu identifizieren.
MSE16-E744	2	Kann die wirtschaftliche Attraktivität von Biogasanlagen für Betreiber, ohne Subventionen gehalten bzw. gesteigert werden?	klarer Fokus auf Wirtschaft, technische Perspektive (Entwicklung) dort eingeordnet	1,5	Blockschalt diagramm	3	CLD	5	Der Fokus des Modells zur Leitfrage, inwiefern ein wirtschaftlicher Anlagenbetrieb auch ohne Subvention erreichbar ist, ist bei MSE16-E744 auf Wirtschaftlichkeit gesetzt. Die technische Entwicklung wird als Ausweg aus der Subventionsförderung zentral zwischen wirtschaftlichen Größen verankert.	MSE16-E744 setzt im Pre-Test ein Blockschalt diagramm und damit methodisches Vorwissen aus dem Studiengang ein. In der Intervention wird ein stark vernetztes Modell erstellt, das fast alle Größen miteinander verbindet. Rückkopplungen sind eingezeichnet. Der Post-Test enthält ein Wirkungsdiagramm, bei dem Rückkopplungen nicht explizit markiert sind. Eine Modellierung mit der vorgegebenen Methode "aus dem Stegreif" (MSE16-Feedback, Pos 12-13), entspricht weniger seinen Vorstellungen und sollte nach seiner Ansicht in "mit anderen Methoden" (MSE16-Feedback, Pos. 6) kombiniert werden.

**Merkmalsraum Typus 3**

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach Kat.)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennnisse	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennnisse
IDM16-A282	3	Welche Auswirkung hat die Nutzung von Abfallstoffen auf die Stromgestehungskosten einer Biogasanlage?	mind. 2. Perspektiven, Nutzung von Abfallstoffen ggf. als Einsatzstoffe gesehen	2+	Graph elementar	3	CLD	3	IDM16-A282 untersucht, welche Auswirkung die Nutzung von Abfallstoffen auf die Stromgestehungskosten einer Biogasanlage besitzt. Es werden wirtschaftliche und einsatzstoffbezogene Größen berücksichtigt.	Im Pre-Test von IDM16-A282 sind elementare Zeitverläufe verschiedener Modellgrößen dargestellt (linear und exponentiell). In der Intervention erfolgt die Darstellung von Einflussgrößen auf die Stromgestehungskosten, sowie die Darstellung der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Einsatzstoffen in einem Wirkungsdiagramm. Der Post-Test umfasst ein quer vernetztes Wirkungsdiagramm mit einer eingezeichneten Rückkopplung.
IDM16-M042	3	Kann Biomethan-Kraftstoff im Verkehrssektor anhand Erzeugungskosten und Nachfrage ausgebaut werden?	selbst erkannt, dass v.a. wirtschaftlich Weglassen von Substraten	2+	Graph nichtlinear (Räuber-Beute)	3	CLD	4	IDM16-M042 untersucht Zukunftschancen von Biomethanfahrzeugen. Im Modell werden neben nachfrageorientierten Komponenten, die in ein Teilmodell ausgelagert sind, auch technische und umweltbezogene Aspekte berücksichtigt. Im Laufe der Modellierung wurde eine Perspektive (Substrate) weggelassen.	Im Pre-Test skizziert IDM16-M042 ein Räuber-Beute-Modell und greift damit methodisch auf Vorwissen in der Beschreibung eines nichtlinearen Systems zurück. Das Interventionsmodell umfasst ein Wirkungsdiagramm mit Rückkopplungen, unter Identifikation eines Teilmodells. Im Post-Test ist ein umfangreich beschriftetes Wirkungsdiagramm erstellt.
IDM17-B395	3	Wie können Biogasanlagen & deren Substrate unter wirtschaftlichen Aspekten eingesetzt & gefördert werden?	Kosten und Technologie vernetzend	2+	vernetzend	3	CLD	3	Förderung von Biogasanlagen und deren Substraten werden von IDM17-N395 unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte untersucht. Substrate werden unter dem Aspekt von Kosten und Nachhaltigkeit betrachtet, wobei die Nachhaltigkeit als "Umweltvorteil" (IDM17_Gp2_tuer, Pos. 9 neben den Kosten gesehen wird.	Im Pre-Test beschreibt IDM17-B395 Zusammenhänge mittels Pfeilen. Das Interventionsmodell ist ein vernetztes Wirkungsdiagramm, Der Post-Test umfasst ein stark vernetztes Wirkungsdiagramm ohne eingezeichnete Rückkopplungen.

Anhang G - Typenbildung

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach CLD)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennntniss	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennntniss
IDM17-G784	3	Welche technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen müssen erfüllt sein, dass Biogasanlagen weiterhin zur Energieversorgung beitragen?	vernetzend dargestellt	2+	Graph linear	3	CLD	3	IDM17-G784 untersucht technische und wirtschaftliche Voraussetzungen zum Weiterbetrieb von Biogasanlagen. Im Modell werden verschiedene Größen, die der zentral eingeordneten Versorgung durch Biogasanlagen beeinflussen, markiert.	Im Pre-Test werden lineare Verläufe eingesetzt. Das Interventionsmodell vernetzt Einflussgrößen mit der zentralen Größe. Hierbei werden auch Rückwirkungen identifiziert, doch findet nur teilweise eine Vernetzung von Einflussgrößen untereinander statt. Im Post-Test wird ein Wirkungsdiagramm erstellt, in den Rückkopplungen nicht explizit markiert sind.
IDM17-H680	3	Wie können Biogasanlagen effizienter genutzt werden, um Ressourcen sparen zu können und unter Berücksichtigung technischer und umweltbezogener Aspekte?	Umwelt und Technik vernetzend dargestellt	2+	vernetzend (Haupt- und Nebenwirkung)	3	CLD	4	Die effiziente Nutzung von Biogasanlagen unter technologischen und umweltbezogenen Gesichtspunkten bildet die Leitfrage von IDM17-H680. Es werden beide Perspektiven im Modell berücksichtigt.	Im Pre-Test wird, über Pfeile dargestellt, Haupt- und Nebenwirkung der Bewässerung dargestellt. Das Interventionsmodell ist ein Wirkungsdiagramm mit beschrifteten Rückkopplungen, das recht ausführlich erläutert wird. Das Wirkungsdiagramm im Post-Test umfasst keine markierten Rückkopplungen.
IDM17-H959	3	In wie weit ist es unter Aspekten der Nachhaltigkeit vertretbar Nachwachsende Rohstoffe (Lebensmittel) zur Energieerzeugung zu nutzen? Im Hinblick auf Lebensmittelknappheit (Transporte durch Lebensmittel Import) und Agrarflächennutzung	Gesellschaft/Wirtschaft und Umwelt dargestellt	2+	vernetzend (Haupt- und Nebenwirkung)	2	CLD	3	IDM17-H959 erstellt ein Modell zur Teller-Tank-Diskussion und verbindet die Bedarfsdeckung mit Aspekten der Ressourcenknappheit und Ethik.	Im Pre-Test werden Haupt- und Nebenwirkung der Bewässerung identifiziert. Das Interventionsmodell ist ein stark vernetztes Wirkungsdiagramm, dessen Rückkopplungen jedoch nicht explizit identifiziert werden. Das Post-Test Modell ist ein Wirkungsdiagramm ohne markierte Rückkopplungen.

Anhang G - Typenbildung

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach ...)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennntniss	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennntniss
IDM17-M985	3	Inwiefern kann der Betrieb von Biogasanlagen mit Energiepflanzen nachhaltig gestaltet werden ohne dass menschliche Bedürfnisse gefährdet werden?	Gewissensfrage sozio-ökologische Betrachtung	2+	vernetzend (Haupt- und Nebenwirkung)	2	CLD	3	IDM17-M985 untersucht, inwiefern der Biogasanlagenbetrieb nachhaltig ohne Gefährdung menschlicher Bedürfnisse möglich ist. Im Modell wird der Einsatz von Energiepflanzen zur Energiegewinnung im Kontext der Vereinbarkeit mit dem Gewissen dargestellt und somit soziale und ressourcenbezogene Größen berücksichtigt.	Im Pre-Test werden Haupt- und Nebenwirkung durch eine Abbildung mit Pfeilen veranschaulicht. Die Intervention umfasst ein Wirkungsdiagramm, dessen Komponenten zunächst als Liste aufgeschrieben wurden. Im Post-Test werden neben Relationen auch Doppelpfeile eingesetzt
IP17-A377	3	Wie muss sich die Energieverteilung von Biogasanlagen ändern? In Bezug auf Strom, Wärme und Gasproduktion	W und T vertreten	2+	bildhaft-episodisch und Graph linear	3	Argumentation skette	3	IP17-A377 thematisiert die Verteilung von Biogaserzeugnissen mit Blick auf technische und wirtschaftliche Aspekte.	Die Darstellung im Pre-Test ist episodisch-linear. In der Intervention wird ein Modell mit beschrifteten Rückkopplungen erstellt. Im Post-Test sind Argumentationsketten als Vorstufe eines Wirkungsdiagramms vertreten.
IP17-E369	3	Wie können sogenannte "virtuelle Kraftwerke" (regenerativ) die konventionellen Großkraftwerke ergänzen?	obwohl technische Größen im Modell überwiegen, erfolgt in der Einordnung durch die Gruppe eine starke Bewertung wirtschaftlicher Komponenten - u.a., da Arbeitsplätze, die zuerst diskutiert wurden, als Wirtschafts-Komponente eingestuft werden	2+	CLD	3	CLD	4	IP17-E369 untersucht, wie virtuelle Kraftwerke konventionelle Kraftwerke ergänzen können. Das Modell berücksichtigt neben technischen Größen auch wirtschaftliche ("Geld"), sowie den Einfluss auf Arbeitsplätze. Es sind Vorkenntnisse im energietechnischen Bereich vorhande, auf die zurückgegriffen wird, um anderen Teilnehmenden fachliche Zusammenhänge zum eigenen Modell zu erläutern	Im Pre-Test wird ein vernetztes Diagramm erstellt. Im Interventionsmodell werden Rückkopplungen auf ihr Wirkung untersucht, indem die Polarität der Rückkopplungen mittels Vorzeichenregel bestimmt wird. Das Post-Test-System ist als Wirkungsdiagramm dargestellt, wobei Rückkopplungen nicht explizit markiert sind.

Anhang G - Typenbildung

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach Kat.)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennnisse	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennnisse
IP17-E373	3	Wie kann man die entstehende Wärme bei Biogasanlagen besser nutzen?	mehrere Perspektiven werden in der (kurzen) Modellvorstellung genannt	2+	episodisch und Graph linear	2	CLD	3	IP17-E373 untersucht die Wärmenutzung bei Biogasanlagen. Es werden neben technologischen auch wirtschaftliche und ressourcenbezogene Aspekte eingebracht.	Die Darstellung im Pre-Test erfolgt als prozesshaftes Verlaufsschema mit Einbindung linearer Zeitverläufe. In der Intervention wird eine Wirkungskette erstellt (eine Rückkopplung wird im Verlauf der Diskussion ergänzt). Im Post-Test wird ein Wirkungsdiagramm erstellt, in dem Rückkopplungen nicht explizit markiert sind.
IP17-T379	3	Wie lässt sich eine effizientere Nutzung bereits vorhandener Sturkturen im Bereich der Biogasanlagen realisieren?	Abfallvergärungsanlagen werden als Umwelalternative genannt, daher 2 Perspektiven	2+	Graph nichtlinear	2	nicht auswertbar	3	IP17-T379 untersucht die effiziente Nutzung bereits vorhandener Strukturen. Neben vielen technologischen Größen werden Flächennutzung und Abfallvergärungsanlagen als umweltbeeinflussende Größen genannt.	Im Pre-Test wird ein nichtlinearer Verlauf der Rinderentwicklung dargestellt. Das Interventionsmodell ist ein Wirkungsdiagramm ohne Rückkopplungen, das methodisch wegen mehrfach verzweigender Pfeile nicht ganz korrekt dargestellt ist. Der Post-Test ist inhaltlich nicht auswertbar.
MSE16-H808	3	Wie kann unter technologischen Gesichtspunkten der Ausbau von Biogasanlagen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und umweltschonender Randbedingungen gesteigert werden?	verschiedene Perspektiven sind gut vernetzt im Modell eingebracht	2+	bildhaft-fallunterscheidend	3	CLD	3	MSE16-H808 untersucht, wie die Anzahl der Anlagen aus technologischer Sicht erhöht werden kann und entwickelt aus der Fragstellung, in der Wirtschaft und Umwelt an zweiter Stelle eingeordnet sind. Nach Teilnehmereinschätzung ist das Modell "wesentlich wirtschaftlicher als [gedacht]" (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 38). Insgesamt stellen die umfangreich vernetzten technischen Zusammenhänge den Großteil des Modells dar, während auf Seiten der Einsatzstoffe Alternativen berücksichtigt und für verschiedene Modellgrößen die "Kosten" in einer aggregierten (noch unvollständigen Form) erfasst sind.	MSE16-H808 identifiziert im Pre-Test die Wirkungen von Wasser auf die Herde und die Mücken als Verzweigung, ohne diese direkt zu vernetzen. In der Intervention wird ein methodisch korrektes Modell erstellt, das der Teilnehmer selbst jedoch als unvollständig ansieht, u.a. da die Betrachtung von Kosten noch ausdifferenzieren ist. Rückkopplungen werden in der Modellvorstellung benannt. Der Teilnehmer erkennt den Vorgang des Modellierungs als Prozess, in dem bei Bedarf auch "noch mal ummodelliert [wird] um das hinzubekommen" (MSE16-Feedback, Pos. 6) Das Post-Test Modell ist methodisch korrekt erstellt und umfasst Rückkopplungen.

Anhang G - Typenbildung

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach Zick)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennntniss	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennntniss
MSE16-W122	3	Wie kann eine Biogasanlage mit größtmöglicher Effizienz am Netz bei hoher wirtschaftlicher Ausnutzung betrieben werden?	hauptsächlich wirtschaftlich	2+	Blockschalttdiagramm	3	CLD	5	Die Leitfrage nach technischer und wirtschaftlicher Effizienz von Biogasanlagen untersucht MSE16-W122 unter Berücksichtigung beider Perspektiven . Hierbei sind Kosten aggregiert angegeben, während ansonsten "eher das technische System" (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 15) die Systemgrenzen festlegt.	MSE16-W122 verwendet im Pre-Test ein Blockschalttdiagramm. Das Modell der Intervention wird mit zahlreichen Vernetzungen erstellt, ebenso wie das Post-Test-Modell. Nur im Interventionsmodell sind Rückkopplungen markiert. Als Feedback äußert der Teilnehmer, dass die Möglichkeit fehle, mit Hilfe von Wirkungsdiagrammen explizite Aussagen zur Dynamik zu treffen: "was hängt jetzt zeitlich voneinander ab. Was wirkt jetzt wie schnell. Welche Schleife kommt wann. " (MSE16-Feedback, Pos.8) und somit die aus dem Studiengang bekannten quantitativen Methoden vermisst werden.
MSE16-W123	3	Wie können Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit von Biogasanlagen in Einklang gebracht werden?	Umwelt und Technik mit Kritik als gesellschaftlicher Größe	2+	Blockschalttdiagramm	3	CLD	5	Die Modellierung erfolgt explizit mit Wahl der Perspektiven Umweltverträglichkeit und technischer Versorgungssicherheit. W123 weist zudem darauf hin, dass eine Berücksichtigung von Kosten, die im Modell "völlig außer Acht gelassen" (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 53) wurden, denkbar wäre.	Im Pre-Test kommt ein Blockschalttdiagramm zum Einsatz. MSE16-W123 erstellt ein aggregiertes Modell, das auch relative Größen (Verhältnis Abfall/Energiepflanzen) berücksichtigt. Die Modellierung ist methodisch korrekt, wird aber vom Teilnehmer hinsichtlich seiner Aussagekraft hinterfragt, u.a. da es weniger Modellgrößen besitzt als die Modelle der anderen Teilnehmer. Im Feedback benennt W123 auch, dass "Bedingungen", an die das Modellieren normalerweise geknüpft ist, nicht berücksichtigt werden. (MSE16-Feedback, Pos. 20) Das Modell im Post-Test ist als Wirkungsdiagramm dargestellt, ohne dass Rückkopplungen benannt sind.

**Merkmalsraum Typus 4**

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach Kat.)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennntnisse	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennntnisse
IDM16-G846	4	Wie lässt sich die Nutzung von Biogasanlagen wirtschaftlicher (umweltfreundlicher) gestalten?	Einflussgrößen aus verschiedenen Bereichen (Modell ohne Rückkopplung	2+	Graph elementar und nichtlinear	1	CLD	2	IDM16-G846 beschäftigt sich mit dem wirtschaftlichen Betrieb von Biogasanlagen. Das Modell umfasst neben wirtschaftlichen Größen auch verschiedene Einsatzstoffe und technische Aspekte	Im Pre-Test von IDM16-G846 sind ein linearer und ein nichtlinearer (elementarer) Zeitverlauf dargestellt. Das Interventionsmodell umfasst Wirkungsketten, welche die Einfüsse auf die zentrale Größe Anlagenwirtschaftlichkeit aufgezeigt werden. Im Post-Test Modell wird ein Wirkungsdiagramm mit markierten Rückkopplungen erstellt.
IDM17-L956	4	Inwiefern ist es möglich, Biogasanlagen mit Blick auf die Versorgungssicherheit zu betreiben?	in der anfänglichen Auflistung nur wirtschaftliche Größen	1,5	vernetzend (Haupt- und Nebenwirkung)	1	CLD	2	Der Betrieb von Biogasanlagen mit Blick auf Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit wird von L956 untersucht. Das Modell enthält technische und wirtschaftliche Größen, wobei technische Größen als äußere Einflussgrößen gesehen werden, die "[...] vom Modell nicht mehr abgedeckt" werden [...]" (Fokusgruppen\IDM17_Gp1_fenster: 3)	IDM17-L956 setzt im Pre-Test eine vernetzende Darstellung ein, die einem Wirkungsdiagramm ähnlich ist und Haupt- und Nebenwirkung identifiziert. Die Modellierung während der Intervention ist schrittweise dokumentiert: zunächst wurde eine Liste mit Modellgrößen erstellt, die anschließend durch Relationen vernetzt wurden. Während im Interventionsmodell keine Rückkopplungen dargestellt sind, weist das Post-Test Modell Rückkopplungen auf, die teilweise markiert sind.
IDM17-S959	4	Wie können die Stromgestehungskosten von Biogasanlagen für nachwachsende Rohstoffe reduziert werden?	nur wirtschaftlich	1	Haupt- und Nebenwirkung und Zeitgraph	1	CLD	2	IDM17-S959 befasst sich mit der Frage, wie Stromgestehungskosten für Nachwachsende Rohstoffe reduzierbar sind. Das Modell umfasst ausschließlich wirtschaftliche Komponenten - nachwachsende Rohstoffe werden als Wirtschaftsgut betrachtet, das in eine Logistikkette eingebunden ist.	Im Pre-Test von IDM17-S959 kommt eine prozessartige Darstellung zum Einsatz, die den Einfluss der Bewässerung auf beide Populationen aufzeigt und typische Zeitverläufe der Populationsentwicklung beinhaltet. In der Intervention ist eine Modellierung in drei Stufen zu dokumentiert: von der Stichpunkt-Liste über eine Wirkungskette hin zum Modell mit mehreren Einflussgrößen, dass noch keine Rückkopplungen aufweist. Im Post-Test wird ein Wirkungsdiagramm eingesetzt, in dem Rückkopplungen nicht markiert sind.



Anhang G - Typenbildung

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach Kat.)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennnisse	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennnisse
IDM17-S960	4	In welchem Zusammenhang stehen erneuerbare Energien wie Biogas zur Entstehung von Kohlenstoffdioxid?	2 Perspektiven i.A. an eigene Einschätzung	2+	vernetzend (Haupt- und Nebenwirkung)	1	CLD	2	IDM17-S960 untersucht den Einfluss von Biogasanlagen auf den CO2-Ausstoß. Hierbei wird die Nutzung der Energie durch die Bevölkerung im Kontext der Ressourcennutzung betrachtet.	Im Pre-Test werden Haupt- und Nebenwirkungen durch Pfeile dargestellt, wobei "beide Denkrichtungen" eingezeichnet sind. Es werden im Interventionsmodell Wirkungsketten dargestellt. Die Bevölkerung stellt die Eingangsgangsgröße, der CO2-Ausstoß die Ausgangsgröße dar. Entwicklungspfade sind linear bzw. beschränkt. Im Post-Test kommt ein Wirkungsdiagramm zum Einsatz
IP17-S376	4	Inwiefern sichern Biogasanlagen Arbeitsplätze und den Fortbestand der Landwirtschaft?	nur Arbeitsplatzbezogen	1	Graph stückweise linear	1	CLD	2	Im Modell fokussiert sich IP17-S376 auf die Untersuchung von Arbeitsplätzen als gesellschaftlich-/wirtschaftliche Größe	IP17-S376 erstellt im Pre-Test eine stückweise lineare Darstellung. In der Intervention wird eine Wirkungskette dargestellt, bei der Modellgrößen mehrfach auftreten. Im Post-Test wird ein Wirkungsdiagramm ohne markierte Rückkopplungen erstellt, wobei eine Größe als indifferent bzw. mit "kein Einfluss" markiert ist.

## Merkmalsraum Typus 5

Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach Kat.)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennnisse	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennnisse
IP17-A372	5	Wie kann man Biogasanlagen hinsichtlich der Gesellschaft populärer machen?	Modell vorwiegend wirtschaftlich (auch wenn ursprünglich Gesellschaft geplant)	2+	Graph stückweise linear	2	stückweise linear	1	IP17-A372 vernetzt Begriffe aus verschiedenen Themenfeldern vernetzt, um ein Modell zu erstellen, dessen thematische Fokus nach Selbsteinschätzung des Teilnehmers von Gesellschaft in den Bereich Wirtschaft wechselt.	Im Pre-Test zeichnet A372 einen stückweise linearen Graphen. Während der Intervention werden Relationen zwischen Modellgrößen ermittelt, wobei teilweise fehlerhafte Ausrichtungen der Relationspfeile vorkommen. Der Posttest umfasst, wie der Pre-Test einen stückweise linearen Graphen.
IP17-A379	5	Was beeinflusst die Netzstabilität und wie kann diese mit Hilfe von Biogasanlagen aufrechterhalten werden?	2 Perspektiven werden in der Vorstellung benannt, obgleich im Modell Fokus Technik scheint - keine "Eingliederung von W in T"	2+	Graph elementar	0	stückweise linear	1	IP17-A379 untersucht Einflüsse auf die Netzstabilität und den Einfluss von Biogasanlagen auf selbige. Es werden wirtschaftliche und technische Aspekte identifiziert.	Im Pre-Test nutzt IP17-A379 lineare und einen exponentiellen Zeitverlauf. In der Intervention wird kein Wirkungsdiagramm erstellt. Die Bereiche Technik und Wirtschaft sind nicht konsistent graphisch vernetzt. Im Post-Test erfolgt eine Darstellung von Zeitverläufen mit stückweisen Verlaufphasen
PHT16-B114	5	Wie entwickelte sich die Substratnutzung seit Beginn der ersten Biogasanlage bis jetzt / heute und in Zukunft?	Viele Modellgrößen, die sich verschiedenen Bereichen zuordnen lassen / aus entsprechenden Texten entnommen sind	2+	bildhaft-vernetzend	0	CLD fehlerhaft	1	PHT16-B114 untersucht die historische Entwicklung der Substratnutzung. Hierbei werden verschiedene technische, umweltbezogene aber auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt, und Größen, die aufgrund ihrer Allgemeinheit nicht zuzuordnen sind, benannt. Die Informationen werden detailgenau dem Text entnommen.	PHT16-B114 setzt im Pre-Test eine ikonische Darstellung ein, bei der verschiedene Phasen durch Pfeile verbunden werden. Das Konzept unbeschrifteter Pfeile wird im Studienverlauf beibehalten: In der Intervention werden Modellgrößen durch Pfeile vernetzt, die mangels Polaritäten jedoch keine Wirkungsketten abbilden. Insgesamt werden sehr viele Aussagen aus dem Text ins Modell übernommen "Ja, das war viel dazu im Text. Deswegen ist das jetzt so groß geworden[...]"# (PHT16_Modelle_G1_1, Pos. 22) im Post-Test wird wie in der Intervention eine Vernetzung ohne Polaritäten vorgenommen

Anhang G - Typenbildung

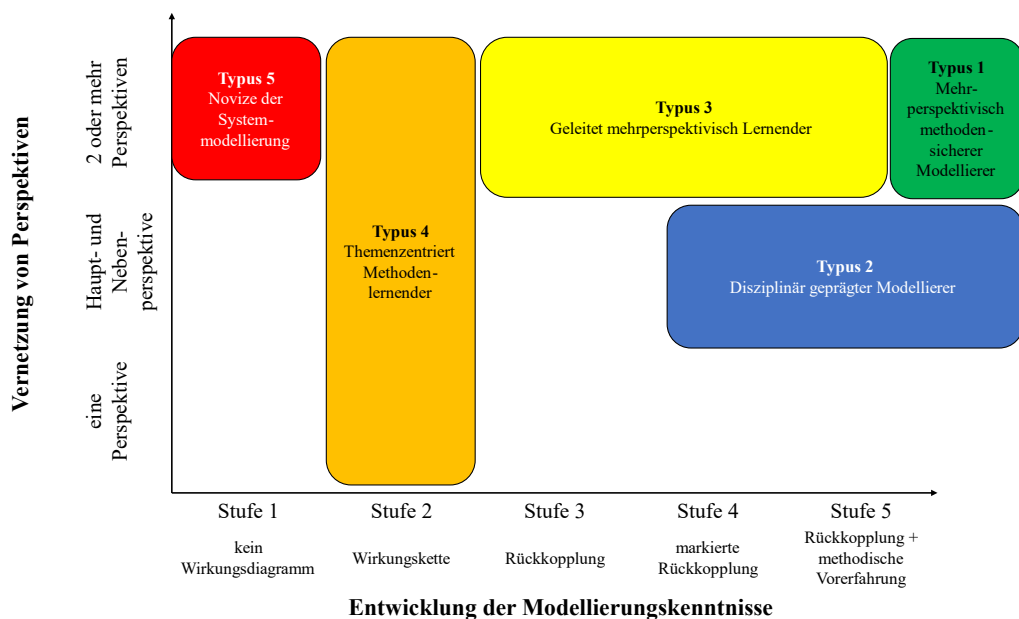
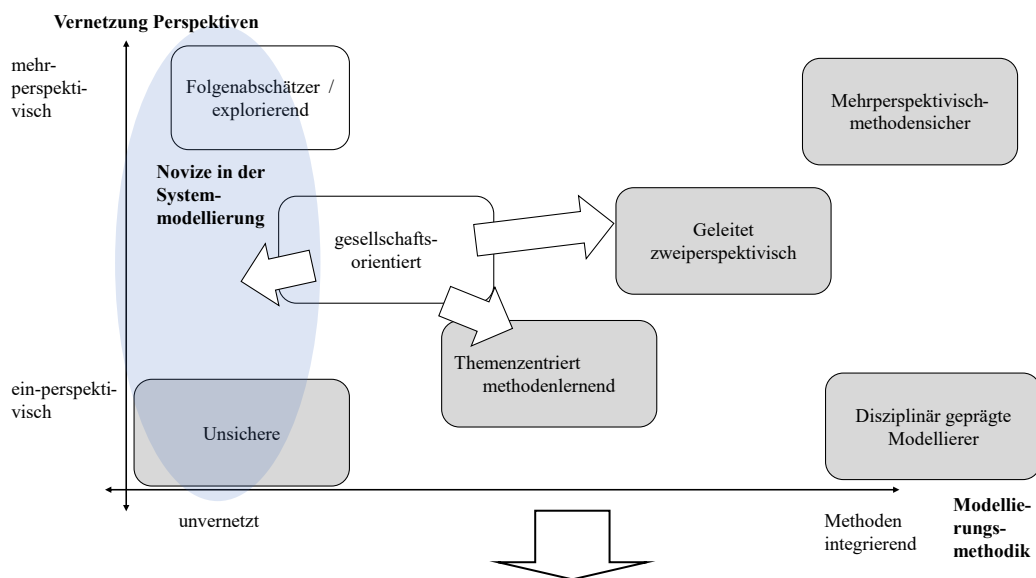
Pseudonym	Typus Nr	Leitfrage	Begründung Zuordnung Perspektive	Typo Perspektiven	Pre-Test Ausprägung	Intervention Ausprägung (Stufe nach Kat.)	Post-Test Ausprägung	Entwicklung Modellierungskennnisse	Vernetzung von Perspektiven	Entwicklung der Modellierungskennnisse
PHT16-M113	5	Für wen lohnt es sich am meisten, eine Biogasanlage zu betreiben	explizite Gegenüberstellung von Gesellschaft und Umweltauswirkungen	2+	bildhaft-vernetzend	0	CLD fehlerhaft	1	PHT16-M113 stellt gesellschaftliche Auswirkungen und Umweltauswirkungen gegenüber. Beide Perspektiven werden in ähnlichem Umfang berücksichtigt.	Im Pre-Test wird eine ikonisch-vernetzende Darstellung gewählt. In der Intervention werden zwei Argumentationsstränge mit Pfeilen dargestellt und untereinander vernetzt ohne dass hierbei Polaritäten identifiziert werden. Eine ähnliche Darstellung wird im Post-Test eingesetzt. Insgesamt findet das Konzept der Wirkungsdiagramme keine direkte Anwendung.
PHT16-N102	5	Wie sollten die Anteile sein von Anbauflächen der Energiepflanzen, Futterpflanzen und direkte Nahrung für Menschen, damit alles nachhaltig, gesellschaftlich ist?	verschiedene Aspekte vernetzend (unterschiedliche Aggregationsebene)	2+	bildhaft-fallunterscheidend	0	Argumentationskette	1	PHT16-N102 beschäftigt sich mit der nachhaltigen Verteilung von Anbauflächen für "Bioenergieträger", Tiernahrung und Nahrung direkt für den Menschen. Es werden alle vier Perspektiven angeschnitten, um Nachhaltigkeit der Landnutzung zu untersuchen. Hierbei wird der in den Dokumenten der Studie bereitgestellte Kontext überschritten und in angrenzende Technologien (z.B. vitro-Fleisch) assoziiert, ohne dass klare Verbindungen zwischen Argumentationssträngen gezogen werden.	PHT16-N102 setzt im Pre-Test eine graphische Darstellung ein, die verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten aufzeigt. In der Intervention kommt statt eines Wirkungsdiagramms Tortendiagramm und eine durch Zusammenfassung in Kästen strukturierte Darstellung zum Einsatz. Im Post-Test werden einzelne Relationen dargestellt, ohne eine Vernetzung zu erreichen.

## **G.2. Entwicklung der Typologie**

Im Folgenden sind exemplarisch Veränderungen in der Entwicklung der Typologie für den letzten Iterationszyklus abgebildet. Diese umfassen die Anpassung der Anzahl von Typen, sowie eine Spezifizierung der Merkmalsachsen ausgehend von den Subkategorien des Kategoriensystems hin zum Merkmal *Entwicklung der Modellierungskenntnisse*, wobei Elemente aus Pretest und Posttest, sowie Äußerungen zu Unsicherheiten bei den Teilnehmenden integriert wurden (vgl. Kapitel 11, Anhang G.1).

*Verschiebungen von Fällen im letzten Zyklus der Typenbildung*

Die Auflösung des Typus *Gesellschaftsorientierter* und die Vereinigung von *Folgenabschätzern* und *Unsicheren* zu *Novizen der Systemmodellierung* auf Basis veränderter Merkmalsachsen führt zur Neugruppierung der Fälle:



**Veränderung der Typologie im letzten Iterationsschritt**

Die Bewegung der Fälle zwischen vorletzter und letzter Version der Typologie sind im Folgenden dokumentiert:

Typus	„Outgoing“	„Incoming“ in finalelem Merkmalsraum	Erklärung der Neuordnung (für „incoming“ Fälle)
5		PHT16-M113	PHT16-M113: Fehlende Methodik in der Modellierung, kein Einsatz von Wirkungsdiagrammen im Posttest -> Typus 5.  Zudem Auflösung des Typus „Gesellschaftsbezug“
4	IDM16-A282  MSE16-W122	IDM17-S960  IP17-S376	IDM17-S960 stellt im Modell Wirkungsketten ohne Rückkopplungen dar.  IP17-S376 setzt im Modell keine Rückkopplungen ein; Subtyp Gesellschaftsbezug aufgelöst
3		MSE16-W123  MSE16-W122  IDM16-A282	MSE16-W122 hat nur eine wirtschaftliche Größe im Modell, vernetzt diese aber explizit mit anderen Perspektiven.  Der Modellvorstellung ist zu entnehmen, dass IDM16-A282 Abfallstoffe nicht rein als Substrate im wirtschaftlichen Sinn betrachtet.  MSE16-W123 äußert mehrfach Unsicherheit, daher keine Zuordnung zu Typus 1: „ <i>Da meine Frage falsch gewählt war vermutlich. Am Anfang erschien sie mir noch gut, danach nicht mehr so. (MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 53)</i> “  <i>Vielleicht wäre es mit den Kosten noch mal irgendwie noch mal ein bisschen ausführlicher geworden. Aber ganz umschwenken wollte ich dann auch nicht mehr. [..](MSE16_Aufnahme_Modell_1, Pos. 53)</i>
2	-	-	unverändert
1	MSE16-W123		

Der Merkmalsraum von Typus 5 wurde durch Auflösung des Typus mit Gesellschaftsbezug erweitert. Typus 4 umfasste ausschließlich Personen, die Modelle ohne Rückkopplung erstellten, daher erfolgte Vorhandensein von Rückkopplungen im Modell eine Zuordnung zu Typus 3. Die Zuordnung zu Typus 1 erfolgte nicht, wenn Unsicherheiten in der Modellierung benannt wurden, stattdessen wurden Fälle auch in diesem Fall zu Typus 3 zugeordnet. Die Zuordnung von Fällen zu Merkmalsausprägungen von Typus 2 waren bereits in vorherigen Versionen der Typologie stabil, so dass sich keine Änderungen in der letzten Iteration ergaben.