

Hochschule Geisenheim

**Umgang mit der Komplexität  
naturschutzrelevanter Großprojekte**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Ingenieurwissenschaften (*Dr.-Ing.*)

vorgelegt von

*Thomas Muschkullus, M.Sc.*

geboren am 06. Dezember 1971

Sobernheim, Deutschland

April 2022

Vorsitzender:	Prof. Dr. Heiko Mibus-Schoppe
Erster Gutachter:	Prof. Dr. Eckhard Jedicke
Zweiter Gutachter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut
Dritter Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Volker Blees
Prüferin 4:	Prof. Dr. Constanze Petrow
Prüferin 5:	Prof. Dr. Ilona Leyer

Eingereicht am: 28.04.2022

Tag der Disputation: 09.12.2022

Die vorliegende Arbeit wurde am 9. Dezember 2022 von der Hochschule Geisenheim als Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) angenommen. Die Verleihung des akademischen Grades richtet sich nach der institutionellen Zuordnung des zweiten Gutachters, der dem Fachbereich Umweltgerechter Stadt- und Infrastrukturplanung der HafenCity Universität Hamburg (HCU) angehört.

## Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in den Satzungen der Hochschule Geisenheim zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis niedergelegt sind, eingehalten.“

Thomas Muschkullus

§ 16 (2) Promotionsordnung der Hochschule Geisenheim  
(16.12.2018)

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung .....	I
Inhaltsverzeichnis .....	II
Abbildungsverzeichnis .....	X
Tabellenverzeichnis .....	XXI
Abkürzungsverzeichnis .....	XXIV
1 Zusammenfassung / Summary.....	1
2 Einführung in die Thematik.....	8
2.1 Einführung.....	8
2.2 Stand der Forschung .....	15
2.3 Struktur der vorliegenden Arbeit.....	17
3 Paper 1: Vorschläge für einen Perspektivwechsel in der Planung von Verkehrs-Großprojekten .....	21
3.1 Einleitung .....	25
3.2 Fragestellung, Material und Methoden .....	25
3.2.1 Fragestellung .....	25
3.2.2 Material und Methode .....	26
3.3 Straße und Landschaft als System.....	28
3.4 Eigenschaften von Systemen .....	31
3.5 Aspekte als Blickwinkel auf Systeme .....	37
3.6 Dynamische Komplexität von Straße und Landschaft.....	40
3.6.1 Komplexität und Dynamik .....	40
3.6.2 Chaos in dynamischen nichtlinearen Systemen.....	44

3.7	Dekomposition als Werkzeug zum Umgang mit der Komplexität .....	45
3.7.1	Grundlagen der Dekomposition .....	45
3.7.2	Modellbildung .....	48
3.8	Perspektivwechsel in der Planungspraxis .....	48
3.8.1	Zusammenführung der Ergebnisse aus den Abschnitten 3.1 bis 3.7 .....	48
3.8.2	Ein Perspektivwechsel als Lösungsansatz .....	49
3.8.3	Identifikation des Forschungsbedarfs .....	54
3.9	Ausblick .....	55
4	Paper 2: Definition des Erfolgs der Transformation des Systems Straße und Landschaft im Rahmen naturschutzrelevanter Multistakeholder-Großprojekte .....	59
4.1	Einleitung .....	59
4.2	Fragestellung, Material und Methoden .....	63
4.3	Stand der Forschung .....	66
4.4	Der Erfolgsbegriff im Kontext der Transformation des Systems Straße und Landschaft .....	74
4.5	Das Wissen von den Zielen und den Mitteln des Handelns bei der Transformation des Systems Straße und Landschaft .....	79
4.6	Straße und Landschaft als mehrdimensionaler Multihandlungshorizont .....	99
4.7	Das Wissen über die Umstände im dynamisch komplexen System Straße und Landschaft .....	104
4.8	Deskriptive Betrachtung der Abwägung als Entscheidungsregel der Planung von Verkehrsinfrastrukturprojekten .....	109
4.9	Ethik als Hilfe zur Beurteilung des richtigen Handelns .....	114

4.10	Analyse zur Entwicklung von Vorschlägen für die Definition des Erfolgs der Transformation des Gesamtsystems Straße und Landschaft im Rahmen raumwirksamer Multistakeholder-Großprojekte.....	121
4.11	Stabilität als Mussziel des Systems Straße und Landschaft	134
4.12	Zwischenfazit für die Praxis und Ausblick .....	142
5	Paper 3: Dekomposition und Analyse des Systems Straße Landschaft in der Transformation.....	146
5.1	Einleitung .....	146
5.2	Fragestellung, Material und Methode .....	149
5.2.1	Fragestellung .....	149
5.2.2	Material und Methode .....	153
5.3	Theoretische Grundlagen der Dekompositionsmethode	155
5.3.1	Trennstellen für die Dekomposition .....	156
5.3.2	Anwendungsfelder der Dekomposition bei Infrastrukturvorhaben.....	157
5.3.3	Besonderheit der Dekomposition des Systems <i>SuL</i>	169
5.3.4	Messung der Qualität der Dekomposition .....	170
5.4	Dekomposition und Analyse des dynamisch komplexen Systems Straße und Landschaft in der Transformation .....	173
5.4.1	Komplexität und Systemdimensionen im System <i>SuLT</i>	173
5.4.2	Grundstruktur des Systems <i>SuLT</i> .....	175
5.4.3	Detaillierungsgrad der Dekomposition.....	177
5.4.4	Grenzen von Systemen und Subsystemen .....	178

5.4.5	Fokussierung auf die Planungsprozesse als Teil des <i>P-Systems</i>	179
5.5	Dekomposition und Analyse der Planungsprozesse	180
5.5.1	Dekomposition der Straßenplanung in einen gestuften Prozess	180
5.5.2	Der Prozess der Planung von Projekten der Verkehrsinfrastruktur	183
5.5.3	Verkehrsplanung nach den Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN)	184
5.5.4	Bedarfsplanung	191
5.5.5	Vorplanung	194
5.5.6	Entwurfsplanung	198
5.5.7	Genehmigungsplanung	199
5.5.8	Ausführungsplanung	200
5.5.9	Analyse und Diskussion der Planungsprozesse	200
5.5.10	Dekomposition der Planungsprozesse	207
5.5.11	Zwischenfazit und Ausblick	208
5.6	Studie zur Umsetzung der Berücksichtigung des Schutzgutes Wechselwirkungen nach § 2 Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) in der Praxis	211
5.6.1	Einleitung und Ziel der Untersuchung	211
5.6.2	Material und Methode	214
5.6.3	Datenerhebung	220
5.6.4	Ergebnisse und Bezugnahme auf die Evaluationsergebnisse des Jahres 2008	221
5.6.5	Diskussion, Zwischenfazit und Ausblick	226

5.7	Dekomposition und Analyse des Systems Straße und Landschaft .....	232
5.7.1	Zuordnung der Schutzgüter nach § 2 UVPG zu den Systemdimensionen im Systemdimensionskreis.....	235
5.7.2	Biokybernetischer Ansatz und die Elemente eines systemrelevanten Modells nach Frederic Vester .....	237
5.7.3	Konzept der Systemaspekte.....	243
5.7.4	Ergebnisse der Analysen.....	244
5.7.5	Diskussion und Erweiterung des Systemdimensionskreises .....	246
5.7.6	Zusammenführung des ökosystemaren, systemdimensionalen und biokybernetischen Ansatzes in einem Projektstrukturplan.....	248
5.8	Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick .....	250
5.8.1	Zusammenfassung .....	250
5.8.2	Diskussion der Ergebnisse der Forschungsfrage...253	
5.8.3	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf .....	257
6	Paper 4: Case-Study - Rekomposition und Simulation des Systems Straße und Landschaft in der Transformation am Beispiel der B3 Ortsumfahrung Elstorf .....	260
6.1	Problembeschreibung und Fragestellung.....	260
6.2	Material und Methode.....	261
6.2.1	Begründung der Projektauswahl.....	261
6.2.2	Hintergrund und Ziele des Vorhabens Ortsumfahrung Elstorf	266
6.2.3	Methode.....	272
6.3	Inhaltsanalyse der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) zur Ortsumfahrung Elstorf.....	277



6.3.1	Fragestellung .....	277
6.3.2	Material und Methode .....	277
6.3.3	Datenerhebung .....	279
6.3.4	Ergebnisse .....	279
6.3.5	Diskussion und Ausblick .....	281
6.4	Qualitatives ökosystemares Modell der OU Elstorf .....	283
6.4.1	Bildung des qualitativen ökosystemaren Modells der OU Elstorf .....	283
6.4.2	Ergebnisse .....	284
6.5	Delphi-Studie zu Zielen, Problemen und Ursachen in Projekten der Verkehrsinfrastruktur .....	288
6.5.1	Anlass und Problemstellung .....	288
6.5.2	Der Delphi-Ansatz .....	289
6.5.3	Studiendesign und Ablauf .....	291
6.5.4	Ablauf der Studie .....	297
6.5.5	Inhaltliche Ergebnisse der Studie .....	300
6.5.6	Zwischenfazit und Ausblick .....	318
6.6	Qualitatives sozioökonomisches Teilmodell der OU Elstorf 319	
6.6.1	Qualitatives sozioökonomisches Teilmodell aus der UVS 320	
6.6.2	Qualitatives sozioökonomische Teilmodell aus Delphi- Studie 321	
6.6.3	Qualitatives sozioökonomisches Teilmodell (Deduktion) .....	323
6.6.4	Koppelung der qualitativen sozioökonomischen Teilmodelle .....	327

6.7	Koppelung der qualitativen Teilmodelle zu einem qualitativen Modell von <i>SuL</i> im Kontext der geplanten OU Elstorf	329
6.7.1	Koppelung der Teilmodelle zu einem qualitativen Modell von <i>SuL</i> der OU Elstorf	329
6.7.2	Analyse des qualitativen Modells von <i>SuL</i> der OU Elstorf	331
6.8	Quantitatives Teilmodell der abgetrennten Teilpopulation des Laubfrosches ( <i>Hyla arborea</i> ) südlich von Elstorf	348
6.8.1	Der Laubfrosch im System <i>SuL</i> der OU Elstorf	350
6.8.2	Teilmodell Verkehr im System <i>SuL</i> der OU Elstorf	355
6.8.3	Teilmodell der abgetrennten Teilpopulation des Laubfroschs südwestlich von Elstorf	362
6.8.4	Sensitivitätsanalyse	375
6.8.5	Policy Test	379
6.8.6	Diskussion und Zwischenfazit	382
6.8.7	Rekomposition des Teilmodells Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfrosches und Zwischenfazit	383
6.9	Fazit und Ausblick	387
7	Schlussbetrachtung, Reflexion und Ausblick	390
7.1	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	390
7.2	Reflexion	414
7.3	Ausblick	427
	Danksagung	433
	Anhänge	434
	Anhang 1: Liste der untersuchten Vorhaben der UVP Studie	434

Anhang 2: Semantische Darstellung der Wirkketten.....	438
Anhang 3: Anschreiben an die Teilnehmenden der DELPHI-Studie 443	
Anhang 4: Anlage zum Fragebogen.....	446
Anhang 5: Fragebogen der ersten Welle der DELPHI-Studie....	449
Anhang 6: Fragebogen der zweiten Welle der DELPHI-Studie..	453
8 Literatur .....	461

# Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Investitionsvolumen nach Verkehrsträgern im BVWP 2030 (eigene Darstellung nach (BMVI 2016)).</i>	9
Abbildung 2: Übersichtsdarstellung der einzelnen Teile (eigene Darstellung).	20
Abbildung 3: Struktur der Fragestellung und deren Beantwortung (eigene Darstellung).	26
Abbildung 4: Sinn im Kontext von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur. P-System = System der Planungsprozesse (eigene Darstellung).	35
<i>Abbildung 5: Aspekte des Systems „Verkehrsinfrastrukturprojekt“ (vgl. MAIER 2009).</i>	38
Abbildung 6: Systemaspekt 2 – Ordnung und strukturelle Kopplung (eigene Darstellung).	39
Abbildung 7: Transformation von Straße und Landschaft (SUL) vom 0- zum 1-System (eigene Darstellung).	41
Abbildung 8: Zusammenfassende Darstellung von Leistungsphasen, Planungs- und Erfahrungsschritten sowie umweltfachlicher Instrumente (eigene Darstellung in Anlehnung an (BRACHER & BÖSL 2017). Rote Schrift = normative Setzungen. Abkürzungen: FStrG = Bundesfernstraßengesetz (28.07.2007, zul. geä. 29.11.2018), FStrAbG = Fernstraßenausbaugesetz (20.01.2005, zul. geä. am 23.12.2016); HOAI = Honorarordnung für Architekten und Ingenieure; Lph. = Leistungsphase gemäß HOAI; RAA = Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (2008); RE = Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (2012); RIN = Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (2008); RLBP = Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (2011); UVPG = Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (24.02.2010, zul. geä. am 13.05.2019).	43
Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Naturschutzrelevanz, Komplexität, Dekomposition und Projekterfolg im Vergleich	

zwischen ungezielter (rote Pfeile) und gezielter Dekomposition (grüne Pfeile).....	47
Abbildung 10: Elemente des Lösungsansatzes (eigene Darstellung). .....	53
Abbildung 11: Zusammenhang der Hypothesen.....	55
Abbildung 12: Wortwolke in Verbindung mit dem Wort "Großprojekte" (DUDEN ONLINE 02.01.2022).....	59
Abbildung 13: Struktur der Fragestellung und deren Beantwortung (eigene Darstellung). ....	64
Abbildung 14: Modell des teleologischen Handelns nach Aristoteles (eigene Darstellung). ....	75
Abbildung 15: Problem als Differenz von Soll- und Istzustand (eigene Darstellung). ....	80
Abbildung 16: Zieldreieck im Projektmanagement (eigene Darstellung). ....	82
Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Zielen und Erfolg des Systems SuL (eigene Darstellung). ....	84
Abbildung 18: Zielbeziehungen als Maß der Zielverträglichkeit. Die Zielneutralität wird als Ausnahme nicht als Vektor betrachtet (eigene Darstellung, erweitert nach GESSLER (2014)).....	88
Abbildung 19: Verringerung der Menge zulässiger Lösungen durch Zielformulierungen (eigene Darstellung). ....	89
Abbildung 20: Die 17 globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung der Agenda (WEBSEITE DER BUNDESREGIERUNG 07.04.2022). ....	91
Abbildung 21: Indikator 15.1: Artenvielfalt und Landschaftsqualität (STATISTISCHES BUNDESAMT 09.03.2022).....	92
Abbildung 22: Systematik von Zielen bei der Verkehrsinfrastruktur aus Sicht der Vorhabenträger (eigene Darstellung nach (SCHWEDES 2018)). ....	94
Abbildung 23: Wortwolke möglicher Stakeholder in großen Verkehrsinfrastrukturprojekten (eigene Darstellung nach WADENPOHL (2011)).....	99
Abbildung 24: Multistakeholder-Ziele bei der Transformation von SuL (eigene Darstellung). ....	102

Abbildung 25: Bifurkations-Diagramm (eigene Darstellung, geändert nach (Mainzer, 2007)).	106
Abbildung 26: Maß des Wissens über die Umstände (eigene Darstellung).	127
Abbildung 27: Modell zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs (eigene Darstellung).	132
Abbildung 28: Stabilitätszustände von Systemen (eigene Darstellung nach FORD (2010)).	135
Abbildung 29: Zeitreihe und Phasenraum des Teilsystems Straße (eigene Darstellung).	136
Abbildung 30: Zweidimensionale Darstellung einer Räuber-Beute-Beziehung mit drei Variablen (eigene Darstellung).	137
Abbildung 31: Grenzyklus als zweidimensionale Darstellung in einer Räuber-Beute-Beziehung mit zwei Variablen (eigene Darstellung nach (BRIGGS & PEAT 1995)).	138
Abbildung 32: Span of Control R bezeichnet positive, also verstärkende Rückkopplungen, B bezeichnet negative, also puffernde Rückkopplungen (eigene Darstellung nach FORD (2010)).	139
Abbildung 33: Störende Flussgröße als Stabilitätsprüfung von Systemen (eigene Darstellung).	141
Abbildung 34: Das System Straße und Landschaft in der Transformation (SuLT) mit seinen Subsystemen (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020).	147
Abbildung 35: Elemente des Lösungsansatzes (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020).	148
Abbildung 36: Arbeitshypothese (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020).	149
Abbildung 37: Struktur der Fragestellungen (eigene Darstellung).	152
Abbildung 38: Schematische Darstellung der Vorgehensweise (eigene Darstellung).	154
Abbildung 39: Fifth of Forth Bridge, Schottland (PIXABAY 08.04.2022).	161

<i>Abbildung 40: Statisches Modell eines Gerberträgers im Brückenbau (eigene Darstellung)</i> .....	162
<i>Abbildung 41: prinzipieller Aufbau einer WBS (eigene Darstellung, Auflistung unvollständig)</i> .....	166
<i>Abbildung 42: Richtzeichnung einer Brückenkappe mit Lärmschutzwand nach RIZ</i> .....	168
<i>Abbildung 43: Bemessungsdiagramm für die Verankerung von Pfosten für Lärmschutzwände nach RIZ</i> .....	169
<i>Abbildung 44: Komplexität verschiedener Systemdimensionen (eigene Darstellung nach KRIEGER (1998))</i> .....	174
<i>Abbildung 45: Grundschemata der Dekomposition von Straße und Landschaft in der Transformation (SuLT) in einer WBS (eigene Darstellung)</i> .....	176
<i>Abbildung 46: Screenshot des Videospiele „Frogger“ (KONAMI 12.04.2022)</i> .....	178
<i>Abbildung 47: Wirkzusammenhänge zwischen Planungsprozessen, Akteur:innen und SuL als Planungsgegenstand (eigene Darstellung)</i> .....	181
<i>Abbildung 48: Betrachtung des P-Systems in der WBS (eigene Darstellung)</i> .....	182
<i>Abbildung 49: Dekompositionsschritte im P-System der Straßenplanung (eigene Darstellung)</i> .....	184
<i>Abbildung 50: Schematische Darstellung der Verbindungsfunktionsstufen (BRACHER &amp; BÖSL 2017)</i> .....	185
<i>Abbildung 51: Regelquerschnitt RQ 11,5 für Landstraßen der Entwurfsklasse EKL 2 (vgl. RICHTER 2016)</i> .....	191
<i>Abbildung 52: Aufteilung nach Verkehrsträgern im BVWP 2030 (BVWP 08.04.2022)</i> .....	192
<i>Abbildung 53: Beispiel für einen Übersichtsplan der Varianten im Rahmen der Vorplanung (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG)</i> .....	197
<i>Abbildung 54: Ausschnitt Übersichtslageplan A 643 bei Mainz (STRAßENBAUVERWALTUNG RHEINLAND PFALZ)</i> .....	199

<i>Abbildung 55: Zeitliche Abhängigkeit von Aufwand und Beeinflussbarkeit des Systemverhaltens (eigene Darstellung nach (RUMANE 2019, MACLEAMY 2020, JOHNSON 2017)).</i>	202
<i>Abbildung 56: Baupreisindizes für den Straßen- und Brückenbau (STATISTISCHES BUNDESAMT 11.01.2022).</i>	203
<i>Abbildung 57: Wirkzusammenhang zwischen Berücksichtigung der Wechselwirkungen und Wirkung auf das System SuL (eigene Abbildung).</i>	206
<i>Abbildung 58: Gestufter Prozess der Straßenplanung (geändert nach MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. (2020)).</i>	207
<i>Abbildung 59 Dekomposition der gestuften Planungsprozesse mit Markierung des Lösungsbereichs in Rot (eigene Darstellung).</i>	208
<i>Abbildung 60: Wirkungsmodell des Schutzgutes Wechselwirkungen nach § 2 UVPG (eigene Darstellung).</i>	218
<i>Abbildung 61: Verteilung der ausgewerteten UVS nach Bundesländern (eigene Darstellung).</i>	221
<i>Abbildung 62: Betrachtung der Wechselwirkungen (eigene Darstellung).</i>	222
<i>Abbildung 63: Umfang der Berücksichtigung von Wechselwirkungen (eigene Darstellung).</i>	223
<i>Abbildung 64: Anteil Datensätze mit Berücksichtigung indirekter Wechselwirkungen (eigene Darstellung).</i>	224
<i>Abbildung 65: Anteil Datensätze mit systemischer Betrachtung der Wechselwirkungen (eigene Darstellung).</i>	225
<i>Abbildung 66: Beispielhafte Zuordnung von Entitäten zu den Systemdimensionen für das System Straße und Landschaft auf kommunaler Ebene (eigene Darstellung mit Bildquellen: pixabay.de).</i>	235
<i>Abbildung 67: Zuordnung der Schutzgüter nach § 2 UVPG zu den Systemdimensionen (eigene Darstellung).</i>	237
<i>Abbildung 68: Erweiterter Systemdimensionskreis (eigene Darstellung).</i>	247
<i>Abbildung 69: Projektstrukturplan SuLT mit Fokus auf die Entitäten von SuL (eigene Darstellung).</i>	249



<i>Abbildung 70: Projektstrukturplan als Dekomposition des Systems Straße und Landschaft in der Transformation (eigene Darstellung).</i>	254
<i>Abbildung 71: Screenshot des UVP Portals der Bundesländer ohne Niedersachsen(Quelle: <a href="https://www.uvp-verbund.de/startseite">https://www.uvp-verbund.de/startseite</a>).</i>	262
<i>Abbildung 72: Screenshot des UVP Portals von Niedersachsen (Umwelt 12.04.2022).</i>	264
<i>Abbildung 73: Räumliche Einordnung des Vorhabens gelb markiert, geändert nach (PRINS 08.03.2021).</i>	267
<i>Abbildung 74: Verortung des Planungsraums mit Beginn (A) und Ende (E) der Ortsumfahrung Elstorf (MAPS.GOOGLE 12.04.2022)</i>	269
<i>Abbildung 75: Untersuchte Trassenvarianten im Planungsraum (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG 2019)</i>	270
<i>Abbildung 76: Vergleichende Darstellung der Varianten (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG 2019).</i>	271
<i>Abbildung 77: Prinzipdarstellung eines Stocks-and-Flows-Diagramms mit einer Speichergröße (eigene Darstellung)</i>	273
<i>Abbildung 78: Methodisches Vorgehen der Modellbildung des Systems SuL am Beispiel der OU Elstorf (eigene Darstellung).</i>	276
<i>Abbildung 79: Die Stellung der Straße in der Wirkkette zwischen Planung und Auswirkung des Vorhabens (eigene Darstellung).</i>	281
<i>Abbildung 80 Qualitatives ökosystemares Teilsystem (eigene Darstellung).</i>	285
<i>Abbildung 81 Dynamisches Verhalten ausgewählter Entitäten durch den Bau der Straße zum Zeitpunkt 5 (eigene Darstellung).</i>	288
<i>Abbildung 82: Kategorialer Abbildsatz der Fragestellung für die Delphi-Befragung (eigene Darstellung).</i>	293
<i>Abbildung 83: Ablauf der Delphi Studie zu Zielen, Problemen und Ursachen in Projekten der Verkehrsinfrastruktur (eigene Darstellung).</i>	298

Abbildung 84: Zuordnung der Expert:innen zum Systemdimensionskreis (eigene Darstellung). .....	299
Abbildung 85: Zuordnung der Kategorien zur Systematik von Zielen bei der Verkehrsinfrastruktur aus Sicht der Vorhabenträger (eigene Darstellung nach SCHWEDES (2018)). .....	301
Abbildung 86: Hauptziele im Zusammenhang bei der Planung von Ortsumfahrungen; Ergebnisse beider Befragungsrunden (eigene Darstellung). .....	302
Abbildung 87: Zustimmung in Runde 1 und 2 zur Aussage nach einem übergeordneten Ziel der Systemstabilität (eigene Darstellung). .....	304
Abbildung 88: Sicherheit in Runde 1 und 2 zur Aussage nach einem übergeordneten Ziel der Systemstabilität (eigene Darstellung). .....	305
Abbildung 89: Kombinatorische Sicht aus Zustimmung und Sicherheit in der Aussage in der ersten und zweiten Runde (eigene Darstellung). .....	305
Abbildung 90: Probleme bei der Realisierung von Ortsumfahrungen; Ergebnisse beider Befragungsrunden (eigene Darstellung). ....	308
Abbildung 91: Sicherheit in den Aussagen zu Probleme bei der Realisierung von Ortsumfahrungen; Ergebnisse beider Befragungsrunden (eigene Darstellung). .....	309
Abbildung 92: Problembeeinflussende Faktoren bei der Realisierung von Ortsumfahrungen; Ergebnisse beider Befragungen (eigene Darstellung). .....	311
Abbildung 93: Sicherheit in den Aussagen zu problembeeinflussenden Faktoren (eigene Darstellung). .....	312
Abbildung 94: Bulls-Eye-Diagramm als Kombination aus Problemen (innen) und beeinflussenden Faktoren (außen) (eigene Darstellung). .....	313
Abbildung 95: Zustimmung zur Umsetzungsidee Modellbildung der wechselseitigen Auswirkungen (eigene Darstellung). .....	315
Abbildung 96: Sicherheit in der Aussage zur Modellbildung der wechselseitigen Beziehungen (eigene Darstellung). .....	317

Abbildung 97: Kombinatorische Sicht aus Zustimmung und Sicherheit in der Aussage in der ersten und zweiten Runde (eigene Darstellung). .....	317
Abbildung 98: Sozioökonomisches Teilmodell aus der UVS (eigene Darstellung). .....	320
Abbildung 99: Ziele, Probleme und Stellhebel in sozioökonomischen Systemen als Ergebnis der Delphi-Studie. Rote Hinterlegung=Probleme, blaue Hinterlegung=problembeeinflussende Faktoren, lila Hinterlegung=Ziele (eigene Darstellung). .....	322
Abbildung 100: Qualitativ-deduktives Teilmodell. R=Reinforcing Loop, Regelkreis in fetten blauen Pfeilen dargestellt. B=Balancing Loop, Regelkreis in fetten orangen Pfeilen dargestellt. (eigene Darstellung). .....	323
Abbildung 101: Exkurs Rückkopplung (eigene Darstellung). .....	325
Abbildung 102: Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke, -dichte und Geschwindigkeit (TREIBER & KESTING 2010). .....	326
Abbildung 103: qualitatives sozioökonomisches Modell des Systems SuL der OU Elstorf. Rote Hinterlegung=Probleme, blaue Hinterlegung=problembeeinflussende Faktoren, lila Hinterlegung=Ziele, R=Reinforcing Loop, Pfeile in blau und fett dargestellt, B=Balancing Loop, Pfeile in orange fett dargestellt (eigene Darstellung). .....	328
Abbildung 104 Qualitatives Modell von SuL der OU Elstorf. Rote Hinterlegung=Probleme, blaue Hinterlegung=problembeeinflussende Faktoren, lila Hinterlegung=Ziele (ausführliche Version auf CD), (eigene Darstellung). .....	331
Abbildung 105: vereinfachtes Modell von SuL der OU Elstorf. B2= Balancing Loop 2, Pfeile in blau (dünn), B4= Balancing Loop 4, Pfeile in grün, R1= Reinforcing Loop 1, Pfeile in blau (fett) (eigene Darstellung). .....	332

Abbildung 106: Zustandsraum der Variable des Verkehrs in Abhängigkeit von der Zeit $t$ . R=Reinforcing Loop, B=Balancing Loop (eigene Darstellung). .....	334
Abbildung 107: Voraussichtliches Systemverhalten in der Phase der Nutzung mit Rückkopplungen (FORD 2010). .....	336
Abbildung 108: Die Verortung der Widerstandsvariablen im Modell von SuL der OU Elstorf. Der gelbe Ausschnitt im Bild unten links zeigt die Position der Variable im Gesamtsystem aus Abbildung 105 (eigene Darstellung). .....	338
Abbildung 109: Causes Tree der Variable Widerstände 0 (eigene Darstellung). .....	339
Abbildung 110: Uses Tree der Variable Widerstände 0 (eigene Darstellung). .....	341
Abbildung 111: Die Verortung der Widerstandsvariablen im Modell von SuL der OU Elstorf. Der gelbe Ausschnitt im Bild unten links zeigt die Position der Variable im Gesamtsystem aus Abbildung 105 (eigene Darstellung). .....	343
Abbildung 112: Uses Tree der Schlüsselvariablen Verkehr OU (eigene Darstellung). .....	344
Abbildung 113: Causes-Tree-Darstellung der Schlüsselvariablen Verkehr OU (eigene Darstellung). .....	345
Abbildung 114: Einordnung der Simulation in den Prozess der De- und Rekombination (eigene Darstellung). .....	349
Abbildung 115: Ablauf der Simulation im Teilmodell Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfroschs (eigene Darstellung). .....	350
Abbildung 116: Grenzen des Untersuchungsraumes der OU Elstorf .....	351
Abbildung 117: Berechnete Populationsgrößen und Einschätzung möglicher Austauschbeziehungen zwischen den Teilpopulationen mit Darstellung eines 1.000 m großen Aktionsradius (eigene Darstellung auf der Grundlage von (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG)). Rote Pfeile = Trennwirkung,	

grüne Pfeile = möglicher Austausch zwischen Teilpopulationen. .....	353
Abbildung 118: Feedback-Loop-Diagramm der Auswirkungen des Vorhabens auf den Laubfrosch (eigene Darstellung).....	355
Abbildung 119: Geplanter Verlauf der Nordwestumfahrung Hamburg (Quelle: <a href="https://www.autobahn.de/die-autobahn/projekte/detail/a20-neubau-in-schleswig-holstein#uebersicht">https://www.autobahn.de/die-autobahn/projekte/detail/a20-neubau-in-schleswig-holstein#uebersicht</a> ). .....	357
Abbildung 120: Modell für die Prognose des Verkehrsaufkommens und der Fahrgeschwindigkeit der OU Elstorf in einem großräumigen Kontext (eigene Darstellung). .....	358
Abbildung 121: Fahrzeuge je Kilometer auf der OU Elstorf (eigene Darstellung). .....	358
Abbildung 122: Geschwindigkeit auf der OU Elstorf (eigene Darstellung). .....	359
Abbildung 123: Geschwindigkeit auf der OU Elstorf (eigene Darstellung). .....	360
Abbildung 124: Verlust der Habitatfläche (gelbe Markierung) infolge der Barrierewirkung der Straße (eigene Darstellung).....	361
Abbildung 125: Mögliche Szenarien des Rückgangs der abgetrennten Laubfroschpopulation durch die Realisierung der OU Elstorf eigene Abbildung nach (FORD 2010). .....	363
Abbildung 126: Drei der vier Entwicklungsstadien des Laubfrosches ( <i>Hyla arborea</i> ) (BUND 12.04.2022). .....	364
Abbildung 127: Stocks and Flows Diagramm der abgetrennten Laubfroschpopulation (eigene Darstellung). .....	364
Abbildung 128: Lookup für die Zustandsgröße Regulationsverluste (eigene Darstellung in Vensim PLE). .....	371
Abbildung 129: Simulationsergebnis Population adulter Laubfrösche (eigene Darstellung). .....	372
Abbildung 130: Simulationsergebnis Population juveniler Laubfrösche (eigene Darstellung). .....	373
Abbildung 131: Simulationsergebnis Population Larven (eigene Darstellung). .....	374

Abbildung 132: Simulationsergebnis Population Laich (eigene Darstellung).....	374
Abbildung 133: Werte der Zustandsgrößen mit Zufallsfunktion (eigene Abbildung).....	376
Abbildung 134: Simulation eines Flächenverlustes auf 10 % des Ursprungswertes (eigene Darstellung).....	377
Abbildung 135: Sensitivität der Population infolge des Verkehrs (eigene Darstellung).....	378
Abbildung 136: Policy Test Bau eines Amphibientunnels (eigene Darstellung).....	380
Abbildung 137: Variablen des Teilmodells Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfrosches (gelb markiert) innerhalb des qualitativen Modells von SuL der OU Elstorf (eigene Darstellung).....	384
Abbildung 138: V-Modell zur Berücksichtigung der Zielüberprüfungen (eigene Darstellung nach HABERFELLNER (2012)).	411
Abbildung 139: Zusammenwirken der Handlungsempfehlungen (eigene Darstellung).....	413

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigenschaften verschiedener Systemdimensionen, die bei der Planung und Realisierung von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur zu berücksichtigen sind (Auswahl). .....	32
<i>Tabelle 2: Misserfolgsk Faktoren in Projekten</i> .....	66
<i>Tabelle 3: Erfolgsfaktoren in Projekten</i> .....	67
<i>Tabelle 4: Für die Ausführungen wesentliche Argumente nach (RITTEL 2013), ergänzt um den Aspekt A</i> .....	71
<i>Tabelle 5: Wissen über die Umweltzustände nach (LAUX et al. 2014, GÖBEL 2018)</i> .....	76
<i>Tabelle 6: Vorschlag für eine Erfolgsdefinitionen verschiedener Systemebenen</i> .....	78
<i>Tabelle 7: Fiktives Beispiel einer von Akteur:innen abhängigen Problemdefinition und Mittelauswahl</i> .....	81
<i>Tabelle 8: Grad der Operationalisierung (FÜRST &amp; SCHOLLES 2008, KÜHNER 1995)</i> .....	85
<i>Tabelle 9: Maß der Zielverträglichkeit</i> .....	87
<i>Tabelle 10: Auswahl von Studien zu Phasenübergängen</i> .....	108
<i>Tabelle 11: Mögliche Abwägungsfehler nach (FÜRST &amp; SCHOLLES 2008, ERBGUTH &amp; SCHLACKE 2016)</i> .....	111
<i>Tabelle 12: Konzepte zum Umgang mit mehreren Zielen (vgl. ROMMELFANGER &amp; EICKEMEIER 2002, LAUX et al. 2014) +: geeignet, o: neutral oder bedingt geeignet, -: ungeeignet</i> .....	124
<i>Tabelle 13: Leistungsphasen des Leistungsbilds Ingenieurbauwerke nach § 43 HOAI</i> .....	158
<i>Tabelle 14: Grundleistungen der LPH 3 im Leistungsbild Ingenieurbauwerke nach Anlage 12 und § 43 HOAI</i> .....	159
<i>Tabelle 15: Beispiel des Arbeitspaketes zeichnerische Darstellung der Brückenkappe nach Kap 1 (RIZ), Ausführung mit Radweg</i> .....	165
<i>Tabelle 16: Prozesse und Ordnungsprinzipien in Systemen (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020)</i> .....	175

<i>Tabelle 17: Verbindungsfunktionsstufen und deren Kriterien (BRACHER &amp; BÖSL 2017, ZILCH et al. 2020). Abkürzungen siehe Legende zu Abbildung 50.</i>	186
<i>Tabelle 18: Kategoriengruppen für Verkehrswege nach Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN), (BRACHER &amp; BÖSL 2017).</i>	187
<i>Tabelle 19: Ermittlung der Straßenkategorien (BRACHER &amp; BÖSL 2017).</i>	188
<i>Tabelle 20: Entwurfsklassen für Autobahnen (BRACHER &amp; BÖSL 2017, ZILCH et al. 2020).</i>	188
<i>Tabelle 21: Auswahl von Trassierungsgrenzwerten für Autobahnen (BRACHER &amp; BÖSL 2017)</i>	189
<i>Tabelle 22: Entwurfsklassen für Landstraßen (BRACHER &amp; BÖSL 2017, ZILCH et al. 2020).</i>	190
<i>Tabelle 23: Auswahl von Trassierungsgrenzwerte für Landstraßen (BRACHER &amp; BÖSL 2017).</i>	190
<i>Tabelle 24: Dringlichkeitsstufen im BVWP 2030 (vgl. BMVI, 2016).</i>	193
<i>Tabelle 25: Auszug aus der Anlage 1 des UVPG.</i>	195
<i>Tabelle 26: Ablauf einer Umweltverträglichkeitsstudie im Straßenbau (vgl. BRACHER &amp; BÖSL 2017, FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRABEN- UND VERKEHRSWESEN Ausgabe 2001, ZILCH et al. 2020).</i>	196
<i>Tabelle 27: Erfüllung der Stufen des Planungsprozesses auf die vorgeannten Merkmale optimierungswürdiger Teilprozesse...</i>	204
<i>Tabelle 28: Vergleichende Darstellung der Ergebnisse der Evaluation des UVPG aus dem Jahre 2008 mit der vorliegenden Studie...</i>	228
<i>Tabelle 29: Lebensbereichskriterien, verändert nach VESTER (2015).</i>	238
<i>Tabelle 30: physikalische Grundkriterien verändert nach (VESTER 2015).</i>	240
<i>Tabelle 31: dynamische Grundkriterien verändert nach VESTER (2015).</i>	241
<i>Tabelle 32: Systembeziehungen verändert nach VESTER (2015)...</i>	242
<i>Tabelle 33: Übersicht der Systemaspekte.</i>	243



<i>Tabelle 34: Suchergebnisse im UVP-Portal der Bundesländer.....</i>	<i>263</i>
<i>Tabelle 35: Suchergebnisse im UVP-Portal des Landes Niedersachsen.....</i>	<i>265</i>
<i>Tabelle 36: Ortsteile der Einheitsgemeinde Neu Wulmstorf (WULMSTORF 11.01.2018).....</i>	<i>268</i>
<i>Tabelle 37: Die acht Schritte im Modellbildungsprozess nach FORD (2010).....</i>	<i>274</i>
<i>Tabelle 38: Arten der Wirkbeziehungen zwischen Schutzgütern (verändert nach CARROLL (2017)).....</i>	<i>280</i>
<i>Tabelle 39 Arten der Wirkbeziehungen zwischen Schutzgütern und deren Darstellung in Vensim PLE (verändert nach CARROLL (2017)).....</i>	<i>284</i>
<i>Tabelle 40: Zuordnung der Elemente des kategorialen Abbildsatzes zu den Fragebogenfragen.....</i>	<i>295</i>
<i>Tabelle 41: Ergänzung eines Elementes des kategorialen Abbildsatzes zu den Fragebogenfragen.....</i>	<i>297</i>
<i>Tabelle 42: Zuordnung der betrachteten Variablen zu den Systemdimensionen im System SuL.....</i>	<i>348</i>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AP	Arbeitspaket
BHO	Bundeshaushaltsordnung
BIM	Building Information Modeling
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BNatSchG	Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz)
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
BVERZ 2009	Bundesstraßenverzeichnis, Ausgabe 2009
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
bzw.	beziehungsweise
CH	Schweizerische Eidgenossenschaft (Confoederatio Helvetica)
dB(A)	Dezibel – Frequenzbewertungskurve A
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
DTVw	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke an Werktagen
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
1-System	Zielsystem
EKL	Entwurfsklasse Landstraße nach RAL
ET	Entscheidungstheorie
et al.	und andere
FLD	Feedback-Loop-Diagramm
FFH	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FFH-VP	FFH-Verträglichkeitsprüfung
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FStrAbG	Gesetz über den Ausbau der Bundesfernstraßen (Fernstraßenausbaugesetz)

FStrG	Bundesfernstraßengesetz
GG	Grundgesetz
GGO	Gemeinsame Geschäftsordnung der Bundesministerien
GPMh	Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V. Stunde
HGrG	Gesetz über die Grundsätze des Haushaltsrechts des Bundes und der Länder (Haushaltsgrundsätzegesetz)
HGU	Hochschule Geisenheim University
HOAI	Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure)
ICE	InterCityExpress
IPMA	International Project Management Association
i.d.R.	in der Regel
i.e.S.	im engeren Sinne
i.V.m.	in Verbindung mit
Kfz	Kraftfahrzeug
Kfz/h	Verkehrsstärke
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
LAP	Landschaftspflegerische Begleitpläne
LBP	Landschaftspflegerische Ausführungspläne
Lph	Leistungsphase gemäß HOAI
LPH	Gliederung des Planungsprozesses in Leistungsphasen
LplG BW	Landesplanungsgesetz Baden-Württemberg
LS	Landstraße (Kategoriengruppe)
Mio.	Millionen
MKRO	Ministerkonferenz für Raumordnung
M UVS	Merkblatt zur Umweltverträglichkeitsstudie in der Straßenplanung
n	Anzahl
NBS	Neubaustrecke

Nr.	Nummer
0-System	Ursprungssystem
OD	Ortsdurchfahrt
o.g.	oben genannten
OU	Ortsumfahrung
PLZ	Problemlösungszyklus
PSP	Projektstrukturplan
<i>P-System</i>	System der Planungsprozesse und deren Akteure
RAA	Richtlinien für die Anlage von Autobahnen
RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen in der Ausgabe 2012
RASt	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen, Ausgabe 2006
RE	Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau
RIN	Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung
RIZ	Richtzeichnungen
RLBP	Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau
ROG	Raumordnungsgesetz
ROV	Raumordnungsverfahren
RQ	Regelquerschnitt
saP	Spezielle artenschutzrechtliche Prüfung
SDG	Sustainable Development Goals
Sp	Spalte
<i>SuL</i>	Straße und Landschaft
<i>SuLT</i>	Straße und Landschaft in der Transformation
SUP	Umweltbericht zur Strategischen Umweltprüfung
t	Zeit
TCO	Total Cost of Ownership
UmwRG	Gesetz über ergänzende Vorschriften zu Rechtsbehelfen in Umweltangelegenheiten nach der EG-Richtlinie 2003/35/EG (Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz)

UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPPortV	Verordnung über zentrale Internetportale des Bundes und der Länder im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP-Portale-Verordnung)
UVPVwV	Allgemeine Verwaltungsvorschriften zur Ausführung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
V	Variante / Geschwindigkeit
VB	Vorhaben des vordringlichen Bedarfs
VB-E	Vordringlicher Bedarf Engpassbeseitigung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
Vensim PLE	Systems Dynamics Software Vensim Personal Learning Edition
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
VSG	Vogelschutzgebiet
WB	weiterer Bedarf
WBS	Work-Breakdown-Structure
z.T.	zum Teil
zul. geä.	zuletzt geändert

*But it turns out that life – from the molecular scale all the way up to the ecological scale – is usually governed by longer chains of interactions than we first imagine, with more links in between. We need to know about each of those links and the nature of interactions between them to truly understand, and to intervene in, the rules of regulation on every scale (CARROLL 2017).*

# 1 Zusammenfassung / Summary

## Zusammenfassung

Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur sind komplex und beeinflussen Schutzgüter in hohem Maße; sie besitzen somit in aller Regel eine starke Relevanz für Ziele des Naturschutzes. Die Komplexität hat zur Folge, dass planerische Entscheidungen unter hohen Risiken und nicht dergestalt abgewogen werden, wie dies u.a. gemäß dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) erforderlich ist. Die vorliegende Dissertation geht der Frage nach, wie mit dieser Komplexität umgegangen werden kann, um den Erfolg der Vorhaben zu optimieren.

Dazu wird in **Paper 1** eine Situationsanalyse als Bestandteil des Problemlösungszyklus nach HABERFELLNER (2012) durchgeführt. Auf Grundlage einer *funktionalen Analyse* wird der Frage nachgegangen, welchen Beitrag systemisches Denken zur Optimierung der Planungsprozesse leisten kann. Dies erfordert u.a. eine Beschäftigung mit *Systemen* und ihren *Eigenschaften* aus verschiedenen Blickwinkeln. Darüber hinaus wird die *dynamische Komplexität* des Systems bewertet. Mit der Konsequenz eines notwendigen *Perspektivwechsels in der Planungspraxis* werden Vorschläge abgeleitet, um mit dieser Komplexität besser als bisher umzugehen.

Das **Paper 2** greift den Vorschlag aus Paper 1 auf, Möglichkeiten zur *Bestimmung des Erfolgs* der Transformation des Gesamtsystems *Straße und Landschaft* durch den Straßenbau zu untersuchen. Neben einer theoriebasierten Exploration zu den Begrifflichkeiten *Ziel* und *Erfolg* wird eruiert, welchen Einfluss die zahlreichen Stakeholder im Kontext von Verkehrsinfrastrukturprojekten auf das Zielsystem und auf dessen Erfolg besitzen. Ferner wird erforscht, welchen Einfluss das Maß des *Wissens über die Umstände* auf Abwägungsentscheidungen im Planungsprozess haben kann. Dies wird ergänzt um Betrachtungen zur *Moralität* planerischen Handelns im Spannungsfeld zwischen

divergierenden Interessen der Akteur:innen. Aus den Ergebnissen wird ein *Modell zur Bestimmung des Erfolgs* bei der Transformation des Systems *Straße und Landschaft* im Rahmen von Multistakeholder-Projekten entwickelt.

In **Paper 3** wird mit der *Dekompositionsmethode* ein weiteres wesentliches Element des vorgeschlagenen Perspektivwechsels bearbeitet und auf die Transformation des Systems *Straße und Landschaft* angewendet. Die Analyse der Planungsprozesse fokussiert auf die Phase der Vorplanung, da diese mit der Linienbestimmung die Einflüsse auf die Schutzgüter am deutlichsten bestimmt, und auf die Durchführung einer *retrospektiven Gesetzesfolgenabschätzung* des § 2 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG). Abschließend werden die Entitäten identifiziert, welche das Gesamtsystem repräsentieren, um dieses in ein *mathematisches Modell* zu überführen.

Eine *Case Study* zur geplanten Ortsumfahrung Elstorf im Landkreis Harburg steht im Mittelpunkt von **Paper 4**. Darin wird untersucht, inwiefern *Modellbildung und Simulation* Hinweise auf ein Verhalten des Gesamtsystems liefern können, welches durch die Betrachtung sektoraler Teile nicht darstellbar ist. Aus der *Inhaltsanalyse* der Umweltverträglichkeitsstudie des Vorhabens wird ein *qualitatives ökosystemares* Teilmodell erstellt, aus den Ergebnissen einer *Delphi-Studie* zu Zielen, Problemen und Ursachen in Projekten der Verkehrsinfrastruktur ein *qualitatives sozioökonomisches* Teilmodell. Beide Teilmodelle werden miteinander zu einem *qualitativen Modell der Ortsumfahrung Elstorf* verkoppelt und analysiert. Beispielhaft wird ein Teilsystem in ein simulationsfähiges mathematisches Teilmodell überführt und auf mögliche *Instabilitätspunkte* und *Bifurkationsstellen* untersucht.

Aus den Ergebnissen abgeleitete Handlungsempfehlungen zeigen einen Weg auf, wie der Komplexität begegnet werden kann:

- Dazu bedarf es eines **Perspektivwechsels** in der Planungspraxis zu einer holistischen geistigen Haltung. Hierbei bilden



Straße und Landschaft ein System, welches durch die Realisierung des Vorhabens transformiert wird (System Straße und Landschaft in der Transformation, *SuLT*). Folglich ist die Forschungsfrage nicht allein auf das Infrastrukturprojekt als Subjekt, sondern auf *SuLT* als Objekt der Transformation anzuwenden. Die Transformation wird gestaltet durch ein System aus Prozessen und Akteur:innen, dem *P-System*.

- Es wird herausgestellt, dass die Optimierung des Erfolgs der Transformation Änderungen im Ordnungsprinzip des *P-Systems* bedarf. Dazu wird vorgeschlagen, das Merkblatt zur **Umweltverträglichkeitsstudie** in der Straßenplanung (M UVS) um eine systemische Modellbildung zu ergänzen, um die Wechselwirkungen als bestimmenden Faktor von Komplexität zu berücksichtigen.
- Mit der **Resilienz des Systems Straße und Landschaft** sollte zukünftig für UVP-pflichtige Vorhaben ein Mussziel für die Ermittlung des Systemtransformationserfolgs geschaffen werden.
- Weiter sollte ein **Vorgehensmodell** implementiert werden, in dem auch die Wirkungen des Vorhabens auf die über- und untergeordneten Systeme berücksichtigt werden und der Erfolg der Transformation evaluiert werden kann. Mit der Resilienz des Systems *SuLT* wird ein Messwerkzeug zur Bestimmung dieses Erfolgs vorgeschlagen. Damit wird in den konfliktbeladenen Multistakeholder-Projekten ein übergeordnetes Ziel etabliert, welches in Anlehnung an den kategorischen Imperativ Kants als sinnstiftende Überschrift über dem planerischen Handeln der Akteur:innen steht.
- Die Dekomposition des Systems verringert dessen Komplexität. Die Einzelteile werden untersucht und in einem Modell anschließend wieder zusammengeführt (Rekomposition), um das Verhalten des Systems in der Transformation abschätzen zu können. Die Simulation von Teilmodellen durch die zu

schaffende Rolle einer/eines **Systemarchitekt:in** liefert wesentliche für die Abwägung und Entscheidung relevante Informationen. Anhand dieser können Aussagen über das voraussichtliche Verhalten des Systems getroffen werden, welche bei der derzeit praktizierten Vorgehensweise in der Planungspraxis nicht erkennbar sind.

Die gewonnenen Erkenntnisse, Modelle und Teilmodelle werden in einer **Datenbank** gesammelt und für weitere Projekte öffentlich zugänglich gemacht. Dies erfüllt eine der wesentlichen Forderungen der *Reformkommission Bau von Großprojekten*, wonach alle relevanten Daten für Projekte auf einer Plattform verfügbar sein sollen.

## Summary

Major transport infrastructure projects are complex and have a high impact on protected assets; they are therefore generally highly relevant to nature conservation objectives. As a consequence of this complexity, planning decisions are made under high risks and are not weighed up in the way required by the Environmental Impact Assessment Act (UVPG). This dissertation addresses the question of how this complexity can be dealt with in order to optimize the success of projects.

For this purpose, a situation analysis as part of the problem-solving cycle according to HABERFELLNER (2012) is conducted in **Paper 1**. Based on a functional analysis, the question of what contribution systemic thinking can make to optimizing planning processes is explored. This requires, among other things, a preoccupation with systems and their properties from different perspectives. Furthermore, the dynamic complexity of the system is evaluated. With the consequence of a necessary change of perspective in planning practice, suggestions are derived to deal with this complexity better than before.

**Paper 2** takes up the proposal from Paper 1 to investigate possibilities to determine the success of the transformation of the overall system road and landscape by road construction. In addition to a theory-based exploration of the concepts of goal and success, the influence of the numerous stakeholders in the context of transport infrastructure projects on the goal system and its success is explored. Furthermore, the influence of the degree of knowledge about the circumstances on decisions in the planning process is explored. This is supplemented by considerations of the morality of planning actions in the field of tension between diverging interests of the actors. The results are used to develop a model for determining success in transforming the road and landscape system in the context of multistakeholder projects.

In **Paper 3**, the decomposition method, another essential element of the proposed change of perspective, is processed and applied to the transformation of the road and landscape system. The analysis of the planning processes focuses on the phase of preliminary planning, since this phase, with the line determination, most clearly determines the influences on the protected assets, and on the implementation of a retrospective legal impact assessment of Section 2 of the Environmental Impact Assessment Act (UVPG). Finally, the entities representing the overall system are identified in order to transform them into a mathematical model.

A case study of the planned bypass Elstorf in the district of Harburg is in the center of **Paper 4**. In this paper, it is examined to what extent modeling and simulation can provide indications of a behavior of the overall system, which cannot be represented by the consideration of sectoral parts. From the content analysis of the environmental compatibility study of the project, a qualitative ecosystem submodel is created, from the results of a Delphi study on goals, problems and causes in transport infrastructure projects, a qualitative socio-economic submodel is created. Both submodels will be coupled and analyzed to a qualitative model of the Elstorf bypass. As an example, a subsystem

is transformed into a mathematical submodel capable of simulation and examined for possible instability points and bifurcation points.

Recommendations for action derived from the results show a way to deal with the complexity:

- This requires a **change of perspective** in planning practice towards a holistic mental attitude, in which road and landscape form a system, which is transformed by the realization of the project (System Road and Landscape in Transformation, SuLT). Consequently, the research question is not only to be applied to the infrastructure project as a subject, but to SuLT as an object of transformation. The transformation is shaped by a system of processes and actors, the P-system.
- It is pointed out that the optimization of the success of the transformation requires changes in the organizing principle of the P-System. For this purpose, it is proposed to add a systemic modeling to the leaflet on the **environmental impact study** in road planning (M UVS) in order to consider the interactions as a determining factor of complexity.
- With the **resilience of the road and landscape system**, a mandatory target for the determination of the system transformation success should be created in the future for projects subject to EIA.
- Furthermore, a **process model** should be implemented in which the effects of the project on the superordinate and subordinate systems are also taken into account and the success of the transformation can be evaluated. The resilience of the *SuLT* system is a proposed measurement tool for determining this success. In this way, an overarching goal is established in the conflict-laden multistakeholder projects, which, following Kant's categorical imperative, stands as a meaningful heading over the planning actions of the actors.
- The decomposition of the system reduces its complexity. The individual parts are examined and then brought together again

in a model (recomposition) in order to be able to estimate the behavior of the system in the transformation. The simulation of partial models by the role of a **system architect**, which is to be created, provides essential information relevant for consideration and decision-making. On the basis of this, statements can be made about the probable behavior of the system, which are not discernible in the currently practiced approach in planning practice.

The gained knowledge, models and partial models are collected in a **database** and made publicly available for further projects. This fulfills one of the important requirements of the Reform Commission for the Construction of Major Projects, according to which all relevant data for projects should be available on one platform.

## 2 Einführung in die Thematik

### 2.1 Einführung

Die Menschen streben ein gutes und glückliches Leben an (vgl. MÜLLER 2017). Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Befriedigung von **Bedürfnissen** zu, wie z.B. dem Wunsch nach **Bewegung** (vgl. SCHWEDES 2018). Dieses Bedürfnis ist Ausdruck des Wunsches nach gesellschaftlicher Teilhabe. Dies kann u.a. erreicht werden durch eine Ortsveränderung, um zur Arbeitsstelle zu gelangen, soziale Kontakte zu pflegen oder sich körperlich zu betätigen (vgl. BRECKNER et al. 2020). Der Begriff der **Mobilität** bezeichnet „alle Aspekte, die mit den Bedürfnissen der Bewegung zusammenhängen“ (SCHWEDES 2018). Zudem bildet die „Mobilität von Personen und Gütern [...eine] Voraussetzung für die wirtschaftlich und soziale Entwicklung eines Landes“ (DORSCH 2021). Das Streben danach, die Überwindung des Raums für Personen und Güter immer weiter zu optimieren, wird als **Beschleunigungsinnovation** bezeichnet (vgl. RAMMLER 2015).

Die physische Realisierung der gewünschten Veränderung des Ortes gilt als **Verkehr**. Er beinhaltet „alle Aspekte, die die Umsetzung dieser Bedürfnisse betreffen, und steht damit für die Instrumente, mit denen die Ortsveränderungen stattfinden können“ (SCHWEDES 2018). Zwischen Mobilität und Verkehr einerseits und der Stadtentwicklung andererseits bestehen Wechselwirkungen, da beide voneinander abhängen bzw. einander bedingen (vgl. BRECKNER et al. 2020). Im ländlichen Raum bedarf die Befriedigung von Bedürfnissen längerer Wege. Im Vergleich führt dies im städtischen Raum je Fahrer in Deutschland zu einer etwa „2350 Kilometer höheren Jahresfahrleistung mit dem Auto“ (KRÖHNERT et al. 2020).

Dieser Verkehr findet auf verschiedenen **Verkehrsträgern** statt, welche auch zukünftig weiter ausgebaut werden sollen. So sieht der Bun-

desverkehrswegeplan 2030 (BVWP 2030) ein Gesamtinvestitionsvolumen von 269,6 Mrd. € für alle Verkehrsträger vor. Davon entfallen 132,8 Mrd. € auf Bundesfernstraßen (Abbildung 1).

Aus- und Neubauprojekte umfassen 31 % der Summe für Bundesfernstraßen. 69 % dagegen entfallen auf Erhaltung und Ersatz. Beim Verkehrsträger Straße werden gemäß BVWP etwa 75 % der Investitionsmittel für großräumig bedeutsame Projekte eingesetzt, also für Autobahnen und Bundesstraßen (vgl. BMVI 2016).

Eine genauere Betrachtung des BVWP 2030 zeigt, dass mit 869 Vorhaben mehr als 19,3 Mrd. € auf den Bau und Ausbau von **Ortsumfahrungen (OU)** entfallen. Damit nehmen OU mit 54 % der Projekte einen bedeutenden Anteil des Verkehrsträgers Straße ein.

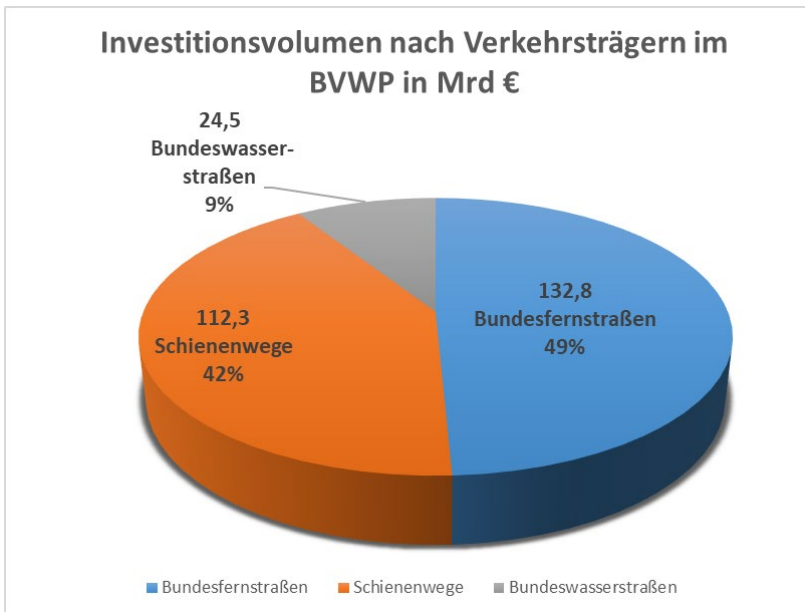


Abbildung 1: Investitionsvolumen nach Verkehrsträgern im BVWP 2030 (eigene Darstellung nach (BMVI 2016)).

RAMMLER (2015) führt aus, dass der Bau von Verkehrsnetzen einen hohen Bedarf an Flächen, Energie, Kapital, Baustoffen und Planung erfordere. Da diese nicht unbegrenzt zur Verfügung stünden, müssten Entscheidungen zwischen verschiedenen Möglichkeiten der **Ressourcenverwendung** getroffen werden. Er verweist darauf, dass dies zunehmend zu Konflikten führe, da Maßnahmen zum weiteren Ausbau der Infrastruktur „nicht mehr als Erweiterungen von Freiheitsräumen und Lebensqualität wahrgenommen werden [...], sondern nur noch als marginale Verbesserungen in einem teuer erkauften Grenzkostenbereich“ (RAMMLER 2015). Neben der Ressourcenverwendung sind auch die **Auswirkungen** auf die **Ressourcen der Umwelt** sowie **Betroffener** in die Entscheidungen mit einzubeziehen. Deren Interessen werden persönlich oder stellvertretend durch Akteur:innen wahrgenommen. Die sich aus diesen Zusammenhängen ergebenden z.T. widerstreitenden Interessen können zu Konflikten in den Vorhaben führen. BRACHER & BÖSL (2017) merken an, dass sich die Planungen von Straßen in einem **konfliktbeladenen Umfeld** zwischen unterschiedlichen Akteur:innen bewegen.

Viele Stakeholder sehen in diesem Kontext ihre Belange nicht hinreichend berücksichtigt. Zudem erreichen viele Verkehrsinfrastrukturprojekte nicht ihre terminlichen und monetären Ziele (vgl. GOBERT 2016). Auch im Endbericht der *Reformkommission Bau von Großprojekten* wurde dargelegt, „dass „eine ganze Reihe öffentlicher Großprojekte die geplanten Kosten und Terminrahmen deutlich überschritten“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015). Eine Expertenkommission hatte den Auftrag, „den Ursachen auf den Grund [zu] gehen und Lösungsvorschläge [zu] entwickeln“. Die Kommission bemängelt u.a. die mangelnde „systematische Auseinandersetzung mit Risiken [...] in vielen Projekten bei allen Beteiligten“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015). Natur- und Artenschutzgründe sowie Bürgerproteste sind einige der genannten **Risikofaktoren** in den häufig **komplexen Vorhaben**. Im Zusammenhang mit **Widerständen** wird ausgeführt, dass dieser ggf.



durch die Wahl der Trasse beeinflusst werden könne (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015).

Zusammengefasst stehen die im BVWP 2030 geplanten Bauvorhaben der Verkehrsinfrastruktur vor grundlegenden (Erfolgs-)Risiken in Bezug auf das komplexe Zusammenspiel aus dem Wunsch nach Mobilität, den Belangen des Natur- und Umweltschutzes, unterschiedlichen Interessen und Zielen der Stakeholder und der schonenden Verwendung von Ressourcen.

Vorhabenträger müssen daher ein hohes Interesse an einem möglichst hohen Erfolg ihrer Projekte haben, welcher sich beispielweise an den Kriterien Kosten, Termine, Leistung sowie der Zufriedenheit der Stakeholder messen lässt (vgl. GESSLER 2014).

Die politische Debatte konzentriert sich hier wesentlich auf die Einhaltung des kalkulierten Kosten- und Terminrahmens. Hinsichtlich der Kosten ist die öffentliche Hand dazu verpflichtet, die Grundsätze der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit zu beachten (vgl. z.B. Art. 114 Abs. 2 GG; § 6 des Gesetzes über die Grundsätze des Haushaltsrechts des Bundes und der Länder (HGrG); § 7 Bundeshaushaltsordnung (BHO)). Die weiteren beispielhaft genannten Aspekte des Projekterfolgs werden dagegen weit weniger diskutiert. Somit bedarf es eines verbreiterten Ansatzes, welcher die Komplexität der Planungsaufgabe für Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur adäquat und deutlich besser als bisher im Planungsprozess abbilden kann und dazu anstelle des heute vielfach noch vorherrschenden segregativen Ansatzes mit Fokus allein auf die technische Abwicklung des Straßenbaus einen systemischen Ansatz verfolgt.

Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur bewegen sich in einem Spannungsfeld zwischen folgenden Eckpunkten:

- Steigerung der Lebensqualität durch das Ermöglichen von **Mobilität** versus Verringerung der Lebensqualität aufgrund der **Folgen des Verkehrs**;

- **Optimieren** der Infrastruktur durch Beschleunigungsinnovation versus vielfach nur marginalem **Nutzen im Grenzkostenbereich**;
- **Ausbau der Infrastruktur** unter Schädigung und/oder Beeinträchtigung von **natürlichen, finanziellen und gesellschaftlichen Ressourcen** versus deren Schonung bzw. ungeschmälerter Erhaltung.

In der **dynamischen Komplexität** besteht ein **Hauptgrund** für das **Scheitern von Projekten** (vgl. GRÖSSER 2011). Komplexität eines Gegenstands ist nach CRAWLEY et al. (2016) das Produkt der Menge seiner Einzelteile und der Menge möglicher Verbindungen zwischen diesen. LANGE (2015) erkennt Komplexität ergänzend in Projekten, wenn diese ein nichtlineares, verzögertes und von Rückkopplungen mitbestimmtes Verhalten zeigen. Ferner zeichneten sich komplexe Projekte häufig durch eine Vorgeschichte aus, indem der Planungsgegenstand von vielen Akteur:innen immer weiter ergänzt wird. Überdies haben komplexe Systeme den Nachteil, dass sie schwierig zu verstehen sind (vgl. HABERFELLNER 2012).

Aus diesen Aspekten von Verkehrsplanungen wird die folgende Forschungsfrage als Kern dieser Arbeit abgeleitet:

## Forschungsfrage

Wie kann der Erfolg naturschutzrelevanter Großprojekte optimiert werden, indem ihre Komplexität durch eine systemische Planung besser als bisher berücksichtigt wird?

Die Forschungsfrage wird in den Abschnitten 3 bis 6 in die folgenden untergeordneten Forschungsfragen untergliedert:

- Welchen Beitrag kann systemisches Denken bei der Optimierung der Planungsprozesse leisten?
- Wie kann der Erfolg des Gesamtsystems Straße und Landschaft bei der Transformation im Rahmen von Multistakeholder-Großprojekten bestimmt werden?
- In welche Entitäten kann das System *Straße und Landschaft* in der Transformation (*SuLT*) dekomponiert werden, um erstens die Komplexität zu reduzieren und zweitens eine systemische Untersuchung zu ermöglichen?
- Kann mittels Modellbildung und Simulation ein Systemverhalten abgebildet werden, welches im Rahmen sektoraler Betrachtungen einzelner Entitäten nicht darstellbar ist?
- Besitzt das System SuL des konkreten Vorhabens Instabilitätspunkte und ergeben sich aus der Betrachtung des Modells Hinweise auf Bifurkationsstellen?

Öffentliche **Großprojekte** werden in der Regel anhand ihres **Investitionsvolumens** definiert: Der Endbericht zielt „auf öffentliche Großprojekte mit einem hohen Investitionsvolumen [...] von EUR 100 Mio.

[ab]“ (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015), wohingegen Hochbauprojekte auf Bundesebene bereits ab € 10 Mio. als „größere Hochbaumaßnahme“ verstanden werden (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU- UND REAKTORSICHERHEIT 2016). Im abschließenden Durchführungsbericht des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), Stand 20.03.2017, werden „Investitionsvorhaben Gesamtkosten, die jeweils 50 Mio. Euro übersteigen“ als Großprojekte bezeichnet (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015).

Daneben spielt auch die **Komplexität** eine bedeutende Rolle: FLYVBER ET AL. (2004) definieren Megaprojekte wie folgt: “Megaprojects are large-scale, complex ventures that typically cost \$1 billion or more, take many years to develop and build, involve multiple public and private stakeholders, are transformational, and impact millions of people“ (FLYVBERG 2017). Damit zielt er u.a. neben dem Kostenfaktor auf die **lange Realisierungsdauer**, die hohe Zahl an **Stakeholdern** sowie die **Komplexität** ab.

SCHMALZ (2019) diskutiert verschiedene Abgrenzungsansätze in der Literatur, beispielsweise das **Ausmaß der Zumutungen**, Zeit- und Zielvorgaben, **Risiko**, **soziale Komplexität**, mediale Wirksamkeit, Raumwirksamkeit oder eine verfahrensbezogene Abgrenzung.

Beim Bau einer Bundesfernstraße werden wesentliche der zuvor genannten Abgrenzungsansätze berücksichtigt, wenn diese gemäß § 6 UVPG als UVP-pflichtig einzuordnen sind.

Die Berücksichtigung der Wirkungen des Straßenraumes auf die Schutzgüter Menschen, Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft sowie die Wechselwirkungen zwischen diesen hat eine Steigerung der Komplexität des Gesamtprojektes zur Folge. In komplexen Systemen sind Aussagen über zukünftige Systemzustände deshalb nur schwer zu treffen.

Wegen der zuvor genannten Bedeutung der Komplexität für den Projekterfolg werden im Rahmen dieser Arbeit Bundesfernstraßen, welche gemäß § 6 UVPG als **UVP-pflichtig** eingeordnet werden, als **Großprojekte** angesehen.

## 2.2 Stand der Forschung

GIESA (2010) modelliert in seiner Dissertation „ausgewählte Prozessstrukturen in den frühen Bauprojektphasen [von **Wirtschaftshochbauten**], ... um damit die Grundlagen für die zukünftige Gestaltung von lebenszyklusorientierten Bauprojektorganisationen zu schaffen“. Hierfür entwickelt er ein Schichtenmodell, welches sich über vier Ebenen erstreckt. Auf der höchsten Ebene befindet sich ein übergeordnetes Phasenmodell, darunter liegt die Ebene der Phasen, gefolgt von der Unterphasen-Ebene bis zur Ebene der Prozesse, Teilprozesse und Prozessstufen. Dabei werden ausgewählte Prozesse modelliert und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet. Auf Planungsparameter und deren Modellierung wird nicht eingegangen, so dass auch keine Aussagen über deren Rückkopplungsmechanismen getroffen werden können.

In der Dissertation von FLURL (2016) steht die Modellierung von Infrastrukturbawerken im Vordergrund. Es wird nicht der Planungsprozess, sondern der Planungsgegenstand modelliert. Schwerpunkte bilden die Entwicklung einer „zentralen **Kollaborationsplattform**“ und die Einbindung von Simulationswerkzeugen. Geometrische Objekte werden mit Konstruktionsschritten verknüpft. In der Plattform werden Regeln zu den Abhängigkeiten von Objektparametern definiert, so dass die Auswirkungen derer Ausprägungen auf andere Parameter automatisiert berechnet werden können.

Ein Vorschlag für die Optimierung im **Hochbau** entwickelte SCHLEICHER (2012) zum Komplexitätsmanagement des Prozesses der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Sie untersucht die Komplexität aus der Sicht von Bauunternehmungen in der Phase der Ange-

botskalkulation. Als Ergebnis stellt sie Werkzeuge zur Schnittstellenkoordination, Kommunikationsmethoden und die Dekompositionsmethode vor.

Die genannten Veröffentlichungen sind an technischen Schnittstellen orientiert. Dies scheint für die Beantwortung der eigenen Forschungsfrage ein ungeeigneter Weg zu sein. Bei der Betrachtung der Planungsprozesse kann man von einem vielfältigen und ganzheitlichen Beziehungsgefüge ausgehen, denn eine multidisziplinäre Projektorganisation plant ein technisch anspruchsvolles Bauwerk, welches in eine komplexe Umwelt eingefügt wird und damit Lebensräume und landschaftliche (nicht allein ökologische) Funktionsbeziehungen zerschneidet.

Wirkzusammenhänge bei komplexen **stadtplanerischen** Fragestellungen mit einem ganzheitlichen Ansatz untersuchen ANDERS & BOTT (2016). Sie entwickeln ein qualitatives Modell des Systems „Stadt“, mit dessen Hilfe sie eine Sensitivitätsanalyse nach VESTER (2003) durchführen. Sie stellen dabei fest, „dass die Berücksichtigung aller Wechselwirkungen bei der Planung nachhaltiger Städte und Quartiere essenziell für die Nachhaltigkeit ist“ (ANDERS & BOTT 2016). Sie argumentieren, dass diese Werkzeuge „die Möglichkeit [bieten], die für eine Entscheidung relevanten Informationen frühzeitig zu analysieren, die Auswirkungen und Risiken verschiedener Szenarien zu diskutieren, um letztendlich bessere Entscheidungen bei komplexen Fragestellungen zu treffen“ (ANDERS & BOTT 2016).

#### Forschungslücke

Die Analyse des aktuellen Stands der Forschung identifiziert die folgende Wissenslücke:

**Es existiert keine Methode zur Dekomposition von Planungsprozessen im Straßenbau, um die Komplexität der Planung strukturierter und wirksamer als bisher abarbeiten zu können, und keine,**

## **welche die spezifischen Aspekte des Natur- und Umweltschutzes abbildet.**

### Forschungsbedarf

Die zuvor genannten Themen sind drängend, besonders vor dem Hintergrund der vor allem durch Europarecht immer komplexer gestalteten Prüfinstrumente für Belange von Natur und Landschaft einerseits. Andererseits mangelt es massiv an der erforderlichen Wirksamkeit von Schutzinstrumenten, setzt man Zustandsindikatoren z.B. zur Biodiversität den rechtlich-politischen Zielen z.B. von EU- und nationaler Biodiversitätsstrategie, nationaler Nachhaltigkeitsstrategie, 2020-Biodiversitätsziel der EU, dem europäischen Schutzgebietsnetz Natura 2000 usw. gegenüber. Sie sind ebenso drängend mit Blick auf die geplante Realisierung zahlreicher Verkehrsinfrastrukturgroßprojekte gemäß dem Bundesverkehrswegeplan 2030 (BVWP 2030). Dieser sieht für Projekte im Bundesfernstraßenbau ein Investitionsvolumen von rd. 132,8 Mrd. € vor. Die Vorhabenträger sind bestrebt, diese Projekte zum Erfolg zu führen. Die öffentliche Hand ist sogar dazu verpflichtet, hinsichtlich der Kosten die Grundsätze der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit zu beachten.

Entsprechend hoch ist der Forschungsbedarf zur Optimierung der Planungsprozesse, um die vielfältigen Belange des Natur- und Umweltschutzes zu berücksichtigen und Haushaltsmittel sparsam einzusetzen. Diese Forschungslücke soll durch die vorliegende Arbeit geschlossen werden.

## 2.3 Struktur der vorliegenden Arbeit

Die vorliegende Dissertationsschrift gliedert sich nach diesem kurzen einleitenden Text in fünf Teile. Abbildung 2 zeigt die Gesamtstruktur des Vorgehens im Überblick. Unterschieden werden die Paper 1–4, die in den Hauptkapiteln 3–6 dargestellt werden. Kapitel 7 beinhaltet

eine Zusammenführung und abschließende Diskussion der wichtigsten Ergebnisse.

In **Abschnitt 3** werden Projekte der Verkehrsinfrastruktur auf der Grundlage einer Situationsanalyse als funktionale Analyse systemtheoretisch aus der interdisziplinären Sicht der Systemtheorie analysiert. Darin wird der Frage nachgegangen, welchen Beitrag systemisches Denken bei der Optimierung der Planungsprozesse leisten kann. Es wird theoriebasiert exploriert, aus welchen Systemen die Straße mit der sie umgebenden Landschaft besteht und welche Eigenschaften die jeweiligen Systeme besitzen. Zudem wird untersucht, welche Mittel für den Umgang mit der Komplexität existieren.

**Abschnitt 4** beantwortet die Frage, wie der Erfolg der Transformation des Systems Landschaft zu einem aus Straße und Landschaft (*SuL*) bestehenden Gesamtsystems im Rahmen der Durchführung eines Projektes bestimmt werden kann. Es wird aufgezeigt, dass eine Vielzahl von Stakeholdern mit divergierenden Zielen von der Transformation betroffen ist. Neben der Definition des Erfolgs ist es daher wichtig, einen Weg für den Umgang möglicher Zielkonflikte innerhalb des Zielsystems aufzuzeigen. Dazu wird analysiert, wie sich Erfolg im Projektmanagement definiert und wie dieser mit den Zielen des jeweiligen Vorhabens in Verbindung steht. Angesichts der großen Zahl beteiligter Akteur:innen in Großprojekten wird der Frage nachgegangen, in welchem Maße diese komplexe Stakeholderlandschaft den Erfolg des Vorhabens beeinflusst. Die Komplexität der Vorhaben bewirkt, dass in der Akteurslandschaft das Wissen von dem Umfeld und den Umständen des Projektes nur begrenzt und vielfach lediglich sektoral vorhanden ist. Daher wird untersucht, welche Folgen diese Beschränkung für das Gesamtsystem haben kann.

Der **Abschnitt 5** knüpft an die in Abschnitt 3 entwickelte Methode der Dekomposition für einen verbesserten Umgang mit der Komplexität an und analysiert diese basierend auf verschiedene Theorien und Methoden. Darauf aufbauend wird der Frage nachgegangen, in welche



Entitäten das Gesamtsystem dekomponiert werden kann, um auf dieser Grundlage *Straße und Landschaft* in der Transformation systemisch zu untersuchen. Die eigentliche Dekomposition erfolgt getrennt für das System *SuL* und die das System verändernden Prozesse. Daran schließt sich eine Untersuchung zu der Frage an, inwieweit das zur Beschreibung der Komplexität der Umweltwirkungen von Infrastrukturprojekten besonders wichtige Schutzgut der Wechselwirkungen im Rahmen von Umweltverträglichkeitsstudien berücksichtigt wird.

Die Rekomposition als Umkehrung der Dekomposition wird als Case-Study für das Vorhaben *Ortsumfahrung (OU) Elstorf* in **Abschnitt 6** durchgeführt. Auf der Basis einer Inhaltsanalyse der dort im Planungsprozess erfolgten Umweltverträglichkeitsstudie wird zum einen ein ökosystemares qualitatives Teilmodell erstellt, zum anderen wird ein sozioökonomisches Teilmodell als Kombination aus Teilen der Inhaltsanalyse, einer Delphi-Studie und durch Deduktion entwickelt. Die beiden Teilmodelle werden zu einem qualitativen Modell von *SuL* der OU Elstorf gekoppelt und analysiert. Daraus sollen erste Aussagen über mögliche Instabilitätspunkte im System getroffen werden. Beispielfhaft wird die Population des Laubfrosches (*Hyla arborea*) an einem Gewässer modelliert und die Auswirkungen der Straße und des Verkehrs auf die Population werden simuliert. Im Ergebnis wird untersucht, ob das System in der Simulation ein Verhalten zeigt, welches durch eine lineare Betrachtung nicht vorhersehbar ist.

In **Abschnitt 7** werden die Ergebnisse zusammengeführt und nach einer Diskussion Handlungsempfehlungen entwickelt, welche mit der Änderung des M UVS, der Implementierung einer Datenbank, dem Vorgehen nach dem V-Modell und einer mehrstufigen Evaluation des Systemtransformationserfolgs eine Änderung der Prozesslandschaft erfordern und zudem mit dem Perspektivwechsel die Einnahme einer neuen geistigen Haltung der Akteur:innen erfordert. Unterstützt werden soll dies durch die neue Rolle der/des Systemarchitekt:in.

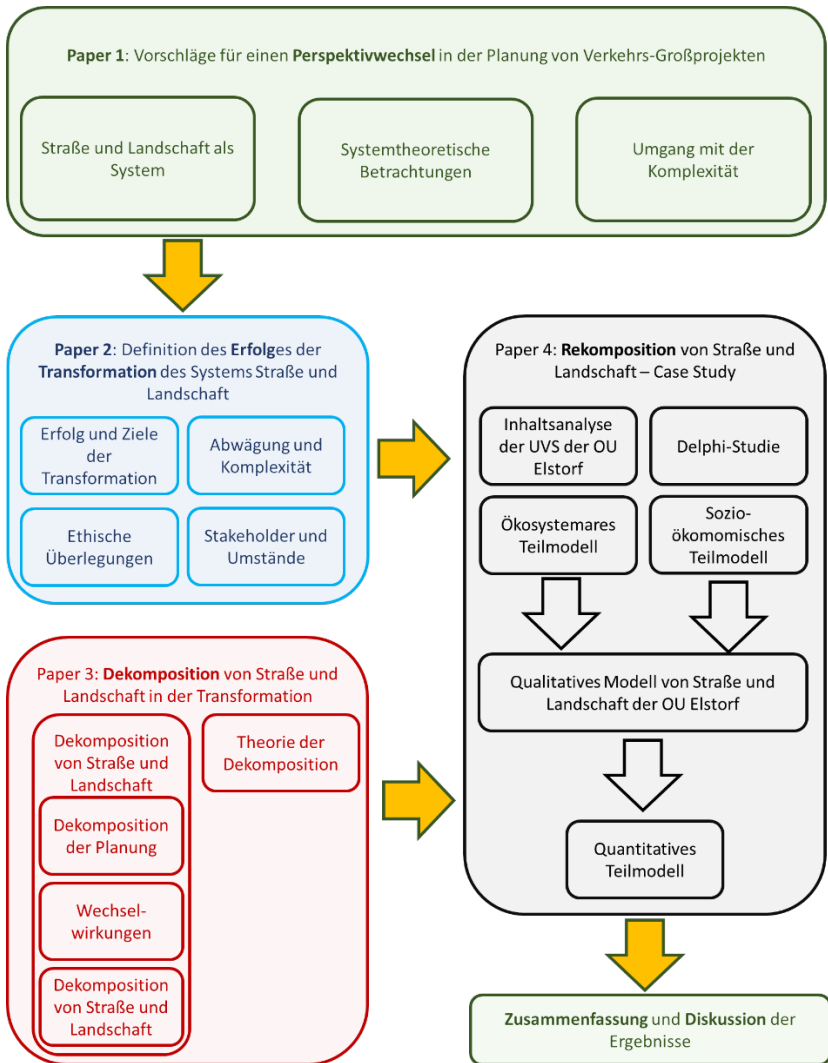


Abbildung 2: Übersichtsdarstellung der einzelnen Teile (eigene Darstellung).

### 3 Paper 1: Vorschläge für einen Perspektivwechsel in der Planung von Verkehrs-Großprojekten

Eine systemtheoretische Betrachtung im Kontext von technischer, ökologischer, ökonomischer und sozialer Komplexität

Dieses Kapitel wurde als Peer-Review Artikel veröffentlicht.

Muschkullus T., Jedicke E. (2020): Vorschläge für einen Perspektivwechsel in der Planung von Verkehrs-Großprojekten. Naturschutz und Landschaftsplanung 52 (2) S. 76 - 86.

Name of the candidate: Thomas Muschkullus
Title of the article: Umgang mit der Komplexität naturschutzrelevanter Großprojekte (Dealing with the complexity of large scale infrastructure projects)

**Authors contributed to the work according to the following categories  
(max. 100 % per column):**

A - more than 75 %    B- 51 to 75 %    C - 26 to 50 %    D- up to 25 %  
 0 - no contribution

Name	Literature review	Development of theoretical model/framework	Concept and design of the study/analysis	Execution choice and development of methods	Evaluation and interpretation of results	Concept and writing of the article
Prof. Dr. Eckhard Jedicke	D	D	D	D	D	D
Thomas Muschkullus	A	A	A	A	A	A

*„Wenn wir nach Lösungen [für das Problem der Trägheit des Verkehrssystems] suchen, [...] so können diese [...] kaum aus dem Teilsystem Verkehr selbst kommen, sondern wohl nur aus einer Betrachtungsweise, die über den Verkehr hinausgehende Zusammenhänge einbezieht“ (VESTER 1999).*

## **Abstract**

Die Komplexität naturschutzrelevanter Großprojekte der Straßenverkehrsinfrastruktur lässt sich nicht mit sektoralem Vorgehen befriedigend lösen, sondern erfordert eine systemische Vorgehensweise. Dieses zeigt die vorliegende Studie mit Hilfe einer systemtheoretischen Betrachtung auf. Als Lösung wird vorgeschlagen, das Straßennetzwerk in seinem komplexen Landschaftsumfeld als Gesamtsystem zu betrachten und mittels Modellbildung und Simulation zu untersuchen. Optimierungsmaßnahmen sollen primär auf die Lebensfähigkeit des Gesamtsystems (der Landschaft als Ganzes) abzielen. Erst danach soll durch eine zielgerichtete Dekomposition der Planungsprozesse der Abwicklungserfolg optimiert werden. Für die jeweilige Umsetzung des Lösungsansatzes in der Planung von Bundesfernstraßen wird die Etablierung der Rolle einer/eines Systemarchitekt:in empfohlen.

## **Abstract**

Using a system-theoretical consideration, the present text shows that the complexity of largescale infrastructure projects require a systemic approach since environmental aspects are currently considered only as external influences of the "road system". This text proposes to solve the problem by following a holistic approach, according to which the planners exceed the present limits of the planned system in order to consider an overall system in which the road construction is a single part only. The aim of such a paradigm shift should be to optimize the project's success by expanding the system and redesigning the decomposition of the system-relevant planning processes, supported by a new role: the systems architect.

## 3.1 Einleitung

Viele Verkehrsinfrastrukturprojekte (z.B. Bundesautobahnen, ICE-Strecken) werden nicht im vorgesehenen finanziellen und/oder zeitlichen Rahmen umgesetzt, wesentliche Stakeholder sehen ihre Interessen nicht genügend berücksichtigt (vgl. GOBERT 2016). Letzteres gilt in besonderem Maße für Belange des Natur- und Umweltschutzes in Großprojekten. Deren Realisierung erfordert einen komplexen Planungsprozess mit einer großen Zahl von untereinander vernetzten Planungsschritten. Dabei müssen Lösungen „gemeinsam mit vielen Akteuren [gefunden werden], die vielfach widerstreitende Interessen vertreten“ (RIEDEL et al. 2016). Gerade in der Planungsphase steht neben technischen Fragestellungen insbesondere der Erhalt und die Wiederherstellung von Landschaftsfunktionen im Vordergrund. Hierzu dient der Einsatz rechtlich verpflichtend vorgesehener Planungs- und Prüfinstrumente, insbesondere von Umweltverträglichkeitsstudie (UVS), spezieller artenschutzrechtlicher Prüfung (saP), der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung und Landschaftspflegerischen Begleit- und Ausführungsplänen (LBP, LAP). Die Vielfalt dieser Instrumente, verschränkt mit den ebenfalls vielschichtigen verkehrsplanerischen und sonstigen Planungsschritten, bedingt höchste Komplexität.

## 3.2 Fragestellung, Material und Methoden

### 3.2.1 Fragestellung

Der Wunsch nach Optimierung sowie der Vermeidung der in Abschnitt 3.1 genannten Probleme führt zu der übergeordneten Frage, wie der Projekterfolg natur- und umweltschutzrelevanter Verkehrsinfrastrukturgroßprojekte optimiert werden kann? Durch die Anwendung einer Problemlösungsstrategie lässt sich diese Fragestellung wiederum in Einzelaspekte dekomponieren. Abbildung 3 erläutert die Struktur der Fragestellung und leitet hieraus die nachfolgenden Kapitel ab.

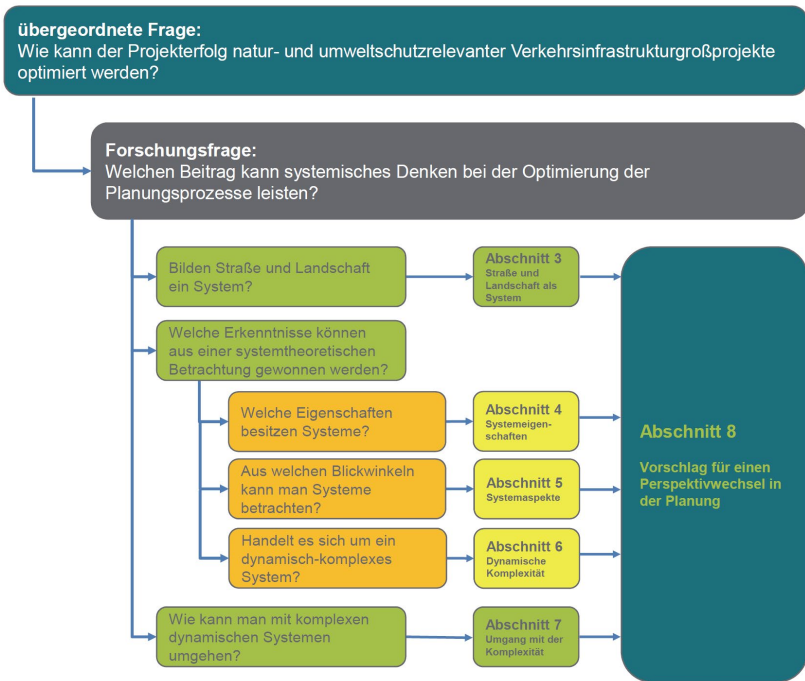


Abbildung 3: Struktur der Fragestellung und deren Beantwortung (eigene Darstellung).

Als Gesamtergebnis soll ein Ansatz entwickelt werden, mit dessen Hilfe das verschachtelte System der einzelnen Planungsprozesse in überschaubare Einheiten (Entitäten) gegliedert (dekomponiert) werden kann, um daraus ein Lösungsprinzip zur Optimierung natur- und umweltschutzrelevanter Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur zu entwickeln. Diese Publikation stellt den Ausgangspunkt für diese Entwicklung dar und bildet gleichzeitig die fachliche Grundlage für das weitere Vorgehen.

### 3.2.2 Material und Methode

Der vorliegende Beitrag nutzt den Problemlösungszyklus (PLZ) von HABERFELLNER (2012): Für ein Problem wird eine Situationsanalyse



durchgeführt, um Ausgangssituation und Aufgabenstellung „zu klären, zu verstehen und die Basis für die Formulierung konkreter Ziele zu schaffen“. Für die Durchführung empfiehlt er „...vier charakteristische Betrachtungsweisen [...], die [...] wechselweise bzw. simultan zur Anwendung kommen“ (HABERFELLNER 2012): ursachen-, lösungs-, system- und zeitorientiert.

Die ursachenorientierte Betrachtung bedingt, dass den wahrgenommenen Wirkungen bereits Ursachen zugeordnet werden können. Ein solches lineares Verhalten liegt bei vielen Problemen von Verkehrsinfrastrukturprojekten allerdings nicht vor. So sind beispielsweise Ernteinbußen nicht unmittelbar auf ein verändertes Kleinklima infolge der Fertigstellung eines nahegelegenen Straßenbaukörpers zurückführbar.

Eine lösungsorientierte Betrachtung zielt auf den gewünschten Sollzustand ab und greift damit der späteren Zielformulierung vor. Es wird in den folgenden Überlegungen allerdings von der These ausgegangen, dass bei der Optimierung komplexer Projekte im Rahmen der Realisierung einer Bundesfernstraße auch komplexe Zielvorstellungen existieren. Die ursachen- und lösungsorientierten Betrachtungen sind in diesem Beitrag daher nicht Gegenstand der Betrachtungen.

Beim **systemorientierten Vorgehen** steht die Orientierung an der Funktion im Vordergrund, gestützt durch systemisches Denken. Darunter versteht man „den Bereich, der sich auf die praktische Veränderung von Systemen bezieht und unter dieser Perspektive auch Anregungen einbezieht, die aus verschiedenen Theorie- und Praxiszusammenhängen stammen“ (HOSEMANN & GEILING 2005).

Eine **zeitorientierte Betrachtung** erscheint insbesondere bei der Untersuchung der z.T. sehr langen Planungs- und Realisierungszeiträume von Straßenbauprojekten sinnvoll. Ferner können Veränderungen über die Zeit bei komplexen Systemen zu erheblichen Auswirkungen führen (vgl. Abschnitt 3.6). Die Situationsanalyse wird in diesem Beitrag daher zeit- und systemorientiert betrachtet.

Methodisch wird die Situationsanalyse als **funktionale Analyse** durchgeführt, um einen Informationszugewinn zu erzielen (vgl. LUHMANN 2015). Dabei „reguliert und präzisiert [sie] Bedingungen, unter denen Differenzen einen Unterschied machen“ (LUHMANN 2015). Ferner werden „Systeme [...] immer als Lösungen zu Problemen betrachtet und nicht als Zustände, die durch äußere Ursachen mechanistisch verursacht werden“ (KRIEGER 1998). Probleme werden in diesem Sinne nur als solche bezeichnet, „wenn sie nicht isoliert, nicht Stück für Stück bearbeitet und gelöst werden können“ (LUHMANN 2015).

Die Analyse wird ergänzt durch eine **theoriebasierte Exploration**. Dazu wird einschlägige Literatur u.a. zur Systemtheorie, zur Komplexität, zur Straßenplanung sowie Rechtsnormen zum Planungs- und Umweltrecht ausgewertet.

### 3.3 Straße und Landschaft als System

Nach CRAWLEY et al. (2016) besteht ein System aus miteinander in Beziehung stehenden Entitäten, deren Funktionalität größer ist als deren Summe. Der Begriff „größer“ wird auch als Emergenz bezeichnet: Danach besitzt ein System auf der makroskopischen Ebene Eigenschaften, welche sich nicht aus den Eigenschaften auf der mikroskopischen Ebene ableiten lassen (vgl. MAINZER 2008). KRIEGER (1998) definiert ein System als „ein irgendwie geordnetes Ganzes.“ Dieses „Ganze“ steht im Fokus der Planungs- und Bauprozesse für die Realisierung einer Bundesfernstraße und damit der Transformation einer „Idee zu einem umsetzbaren Werk“ (SPANG 2016). Bei Betrachtung dieser Prozesse stößt man auf ein vielfältiges und ineinandergreifendes Gefüge verschiedener Systeme, welches nachfolgend als Systemdimensionen bezeichnet wird. Dabei kann die Systemtheorie mit ihrem interdisziplinären Ansatz unterstützen, da sie „neben physikalischen und biologischen auch psychische und soziale Phänomene [erläutert]“ (KRIEGER 1998).

LUHMANN (1999) unterscheidet in seinem Entwurf der Systemtheorie drei Analyseebenen:

- Auf der obersten Ebene stehen Systeme.
- Darunter differenziert er Maschinen, Organismen, psychische Systeme und soziale Systeme.
- Letztere untergliedert er auf der untersten Ebene wiederum in Interaktionen, Organisationen und Gesellschaften.

Nach LUHMANN (1999) kann man „Vergleiche zwischen verschiedenen Arten [Systemdimensionen] von Systemen“ jedoch nur auf einer Ebene durchführen, weshalb in den nachfolgenden Überlegungen die Wirkzusammenhänge auf der zweiten Analyseebene Berücksichtigung finden werden. Für psychische Systeme soll betrachtet werden, wie sich die Projektbetroffenen fühlen.

LUHMANN (1999) konzentriert sich in seinen Ausführungen auf **soziale Systeme**, welche sich nicht aus Menschen, sondern **Kommunikationen** konstituieren. Die Kommunikation innerhalb oder zwischen Gruppen – wie beispielsweise der Mitglieder der Projektorganisation, den Nutzern einer Straße, Anwohnern, Umsetzenden, aber auch Naturschutzbehörden und -verbänden – werden als soziale Systeme angesehen. Mit sozialen Systemen, so MAINZER (2008), „haben wir uns das komplexeste System vorgenommen, das wir derzeit überhaupt kennen – die menschliche Gesellschaft, in der alle diese komplexen Gehirne, wir Menschen also kommunizieren“. Kommunikation ist demnach der Prozess (die Operation), welcher in sozialen Systemen stattfindet.

Das Bauwerk „Bundesfernstraße“ besteht wiederum aus **physischen Entitäten**, z.B. Asphalt, Gesteinskörnungen, Stahl und Beton, Fahrstreifen, Randstreifen, Bankette, Unterbau und Oberbau. Diese werden „mechanisch“ zu einem **technisch-physikalischen System** „**Straße**“ zusammengefügt. Technische Systeme, LUHMANN (2015) bezeichnet diese verallgemeinernd als „Maschinen“, operieren nicht

wie soziale Systeme durch Kommunikation. Die Operation des technisch-physikalischen Systems besteht aus dem Umsetzen von Stoff, Energie und/oder Information (vgl. HINTZEN et al. 2000). Befährt beispielsweise ein Fahrzeug eine Straße, dann wirken Kräfte auf die Straße, welche über den Straßenaufbau auf den Baugrund übertragen werden.

Das technisch-physikalische System wiederum wird in eine **komplexe Umwelt** eingefügt und zerschneidet bzw. stört dabei Lebensräume und ökologische Funktionsbeziehungen abiotischer und biotischer Natur.

Schließlich nutzen nach der Fertigstellung der baulichen Maßnahmen **kybernetische Einheiten**, bestehend aus Menschen und Fahrzeugen, das neue, anthropogene Umfeld.

Es zeigt sich, dass Straße und Landschaft (nachfolgend abgekürzt als **SuL**) aus vielen miteinander mit Wechselwirkungen verknüpften technischen, sozialen, biotischen und abiotischen Entitäten bestehen, welche u.a. verkehrliche, ökologische und soziale Funktionen erfüllen. Eine Verbindung von autopoietischen Systemen, also solchen, welche jeweils auch eigenständig betrachtet werden können, wird als **strukturelle Kopplung** bezeichnet (vgl. KRIEGER 1998, LUHMANN 2015, JACKSON 2019).

Eine Straße als technisches System kann nicht ohne soziale Systeme geplant oder ohne die sie umgebende Landschaft betrachtet werden. Straße und Landschaft bilden demnach ein System, welches wiederum aus Entitäten oder Subsystemen besteht, welche teilweise untereinander und/oder mit der Umwelt strukturell gekoppelt sind. Was dies konkret für das *SuL*-System bedeutet und welche Eigenschaften Systeme besitzen, soll im nächsten Abschnitt erörtert werden.

Angesichts der Herausforderungen aufgrund der Komplexität, der Interdependenzen und der unterschiedlichen Systemdimensionen werden die folgenden Zielsetzungen für den neuen Ansatz zugrunde gelegt:

#### **Zielsetzungen für den Perspektivwechsel**

- Erarbeiten eines Vorschlags für die Festlegung des Betrachtungshorizonts der Planung
- Ausarbeiten von Methoden- und Werkzeugvorschlägen für den Umgang mit der Komplexität des Systems *Straße und Landschaft*
- Ausarbeiten eines Vorschlags, welcher diese Methoden und Werkzeuge anwendet
- Vorschlag für eine übergeordnete Zielsetzung des Perspektivwechsels

### 3.4 Eigenschaften von Systemen

Eine Unterteilung in die in Abschnitt 3.3 genannten Systemdimensionen ist notwendig, da diese sich in ihren **Eigenschaften** voneinander unterscheiden (Tabelle 1).

*Tabelle 1: Eigenschaften verschiedener Systemdimensionen, die bei der Planung und Realisierung von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur zu berücksichtigen sind (Auswahl).*

	technische Systeme	soziale Systeme	abiotische Systeme	biotische Systeme
<b>Operation (Prozess)</b>	Umsetzen von Stoffen, Informationen und Energie	Kommunikation	chemische und physikalische Prozesse	Reproduktion und Selbsterhalt
<b>Ordnungsprinzip (Code)</b>	Bauplan sowie Naturgesetze	Sinn	Naturgesetze	genetischer Code
<b>Poiesis</b>	allopoietisch	autopoietisch	allopoietisch	autopoietisch, allopoietisch
<b>Autonomie</b>	heteronom	autonom	heteronom	autonom

Systeme, welche sich selbst erzeugen und organisieren, bezeichnet man als **autopoietische Systeme** (VGL. KRIEGER 1998, SCHLIPPE & SCHWEITZER 2016). Technisch-physikalische Systeme erzeugen hingegen etwas von sich selbst Abweichendes; beispielsweise generiert eine Ampelanlage verschiedene Lichtsignale. Diese Systeme werden als **allopoietisch** bezeichnet.

Systemoperationen nehmen einen besonderen Stellenwert unter den Eigenschaften ein, da sie eine Voraussetzung für die Erfüllung von Systemfunktionen sind. Beispielsweise kann die Speicherung von Kohlenstoff als eine der vielfältigen Funktionen des Waldes angesehen werden. Viele Funktionen von Systemen oder Systementitäten sind rechtlich normiert, beispielsweise verweist § 1 Abs. 1 Nr. 2

BNatSchG auf die „Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes“ als Ziel des Naturschutzes und der Landschaftspflege.

Das Produkt sozialer Systeme ist ebenso wie dessen Operation die **Kommunikation**. Technisch-physikalische Systeme operieren aufgrund von Sollwertvorgaben von außerhalb, sind also heteronom. Biologische und abiotisch-ökologische Systeme tun dies aufgrund eines inneren funktionalen bzw. genetischen Ordnungsprinzips (und sind daher autonom), während dies bei sozialen Systemen durch die Bearbeitung von Sinn (VGL. SCHLIPPE & SCHWEITZER 2016, KRIEGER 1998) geschieht. Ordnungsprinzipien regeln die Operationen im System und bilden die Auswahl von Entitäten im System und deren Anordnung (Struktur) zueinander sowie in Bezug auf die Umwelt ab (VGL. KRIEGER 1998, HABERFELLNER 2012). Übertragen auf den Planungsprozess einer Bundesfernstraße, nimmt die Bestimmung der Linie nach § 16 FStrG eine herausragende Stellung für die Festlegung eines Ordnungsprinzips des *SuL*-Systems ein, „da diese der Vorbereitung der Planfeststellung dient“ (SPANG 2016), auch wenn die Trasse damit noch nicht parzellenscharf festgelegt wurde (vgl. BRACHER & BÖSL 2017). Damit nimmt die Systemarchitektur des Systems *SuL* und damit dessen Ordnungsprinzip bereits greifbare Formen an; ein Prozess, welcher anschließend mit der Planfeststellung nach § 17 FStrG eine Konkretisierung erfährt.

Unter den Ordnungsprinzipien kommt dem **Sinn** eine Schlüsselrolle zu. Sinn als Ordnungsprinzip sozialer Systeme wird als „Überschuss von Verweisungen auf weitere Möglichkeiten“ (LUHMANN 1999) verstanden. Das bedeutet, dass „aus den [...] Möglichkeiten eine bestimmte als sinnvoll ausgewählt [wird]“ (BERGHAUS 2011). Soziale Systeme konstituieren sich daher auf der Grundlage von Sinn (vgl. KRIEGER 1998, LUHMANN 1999). Wenn sich abiotische Systeme auf der Grundlage der Naturgesetze konstituieren und biotische Systeme dies aufgrund eines genetischen Codes tun, dann ist – neben den Bauplänen technischer Systeme – der Sinn die aus systemtheoretischer Sicht wesentliche Stellschraube, über die der Mensch in das

Gesamtsystem eingreifen kann (vgl. Tabelle 1). Jeder Sinn, der reduziert auf einzelne Entitäten oder Subsysteme abzielt, vernachlässigt die Komplexität der Wechselwirkungen ebenso wie die Komplexität der Zielvorstellungen an das Gesamtsystem. So werden beispielsweise für den Schutz der Natur „instrumentelle, eudaimonistische und moralische Werte geltend gemacht“ (FISCHER 2004). Wenn, wie zuvor erwähnt, aus mehreren Alternativen eine Auswahl getroffen werden soll, dann bedarf dies eines Sinns. Wenn andererseits eine reduktionistische Vorgehensweise die Wechselwirkungen nicht zwingend berücksichtigt, dann liegt für die Ausgestaltung dieses Sinns die Anwendung eines **holistischen Denkansatzes** nahe, welcher das komplexe System als Ganzes betrachtet – nur so lässt sich der komplex zu definierende Sinn im Kontext eines Großprojekts, welches über die Zweckbestimmung der Straße selbst hinaus die Zusammenhänge eines ganzen Landschaftsausschnitts verändert, adäquat berücksichtigen.

#### **Sinn im Kontext eines Großprojektes der Verkehrsinfrastruktur**

Abbildung 4 zeigt, wie einerseits der Erhalt der Lebensgrundlagen und andererseits die gesellschaftliche Wohlfahrt Sinn im sozialen System der Gesellschaft darstellen. Gesetze gestalten gesellschaftliche Ziele auf der Basis von Sinn, welcher damit durch das Rechtssystem erst gesetzt wird. Durch die Gesetzgebung, beispielsweise das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), wirkt der Sinn auf Natur und Umwelt. Durch das Planungsrecht, beispielsweise dem Fernstraßengesetz (FStrG), wirkt der Sinn der gesellschaftlichen Wohlfahrt auf die Großprojekte für den Bau von Bundesfernstraßen.

Im Spannungsfeld zwischen Natur, Umwelt und Großprojekt einerseits sowie zwischen gesellschaftlicher Wohlfahrt und dem Erhalt der Lebensgrundlagen andererseits bewegen sich die Planenden, welche als soziale Systeme das zukünftige *SuL*-System gestalten (vgl. Abschnitt 3.6). Die Anwendung des zuvor genannten **holistischen Denkansatzes im Kontext von Großprojekten** setzt einen den Erhalt der Lebensgrundlagen sowie die gesellschaftliche Wohlfahrt integrierenden Sinn voraus. Beide



Sinne zielen mindestens auf **Erhalt** und **Stabilität** ab. Auch Abschnitt 3.6 verweist auf die Notwendigkeit von Stabilität. Dies führt zur nachstehenden **These** im Rahmen dieser Arbeit:

**Sinn im Kontext von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur bezeichnet die Ausprägung der sozialen Dimension des Ordnungsprinzips des *P-Systems* dergestalt, dass die Stabilität des Gesamtsystems gewährleistet ist.**

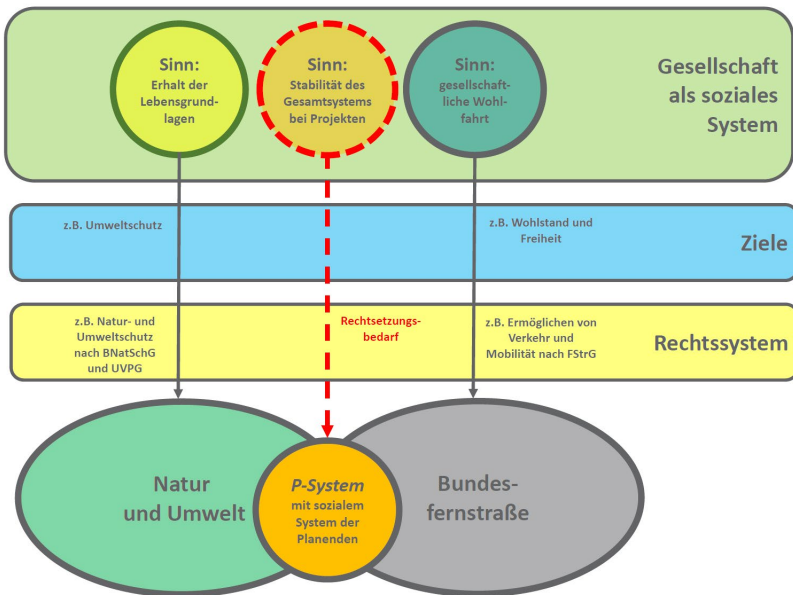


Abbildung 4: Sinn im Kontext von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur. *P-System* = System der Planungsprozesse (eigene Darstellung).

Neben den Unterschieden besitzen die genannten Systemdimensionen Gemeinsamkeiten, beispielsweise die „System-Umwelt-Differenz“ (BERGHAUS 2011, LUHMANN 2017, 2015). Auf diese Differenz bezieht sich u.a. JAKOBY (2019) in seiner Systemdefinition, nach welcher sie „ein Gebilde [ist], das von seiner Umgebung als zusammenhängende Einheit abgegrenzt werden kann“. Nach LUHMANN (1999) „ist

[die Umwelt] für jedes System eine andere, da jedes System nur sich selbst aus seiner Umwelt ausnimmt“.

Für das Optimierungsproblem des Projekterfolgs des Systems „Großprojekt der Verkehrsinfrastruktur“ bedeutet dies, dass die Grenzen zwischen System und Umwelt so gewählt werden müssen, dass relevante Interdependenzen zwischen Entitäten innerhalb einer Systemdimension, aber auch zwischen unterschiedlichen Systemdimensionen berücksichtigt werden. Dieser die derzeitigen Grenzen der gängigen Planungspraxis räumlich sowie in den Systemdimensionen erweiternde (transzendente) Schritt stellt einen ersten Teil eines Perspektivwechsels dar.

In der praktischen Anwendung könnte damit beispielsweise der Forderung nach Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Schutzgütern gemäß § 2 UVPG nachgekommen werden. Zwar werden auch aktuell die verschiedenen Schutzgüter betrachtet. In der Praxis ist die Berücksichtigung der Wechselwirkungen jedoch nur schwer umzusetzen. Im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) für die Linienbestimmung werden beispielsweise konfliktarme Korridore durch Überlagerung einzelner „mit [...] Widerstandsfunktionen belegten Flächen“ ermittelt (BRACHER & BÖSL 2017). Bei diesem Verfahren werden einzelne Schutzgüter (als mikroskopische Teilebenen) und deren Summe (Überlagerung) berücksichtigt. Emergenz, die Möglichkeit der Herausbildung von neuen Eigenschaften oder Strukturen eines Systems infolge des Zusammenspiels seiner Elemente, findet dabei jedoch **nicht zwingend** Eingang, denn in komplexen Systemen können bereits kleine Eingriffe zu nicht oder nur schwer vorhersehbaren Wirkungen führen.

Auch KUHLMANN & ET AL. (2014) merken an, dass in UVS einige „Wechselwirkungen zur Zeit keine oder wenig Beachtung finden“. Daraus lässt sich ein Handlungsbedarf ableiten (siehe Abschnitt 3.8).

Durch den transzendierenden systemischen Ansatz rücken die **Wechselwirkungen** des Gesamtsystems *SuL* als Gegenstand der Planung

in den Fokus. Einen ersten Ansatz dahingehend erkennen HOPPE & APPOLD (2018) zumindest für den Bereich der Umweltprüfung und argumentieren, dass beispielsweise der „**medienübergreifende** oder **integrative Ansatz** der Umweltprüfung [ ] eine Abkehr vom überkommenen sektoralen Schutz einzelner Umweltmedien und eine Hinwendung zum Schutz komplexer Systeme dar[stellt]“. Die Bestimmungen nach § 2 UVPG stellen mithin einen Beleg für die Maxime dar, dass die Komplexität naturschutzrelevanter Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur eines transzendierenden systemischen Ansatzes bedarf.

Mit Blick auf eine mögliche Optimierung ist es dazu geboten, die Ordnungsprinzipien (Codes) der jeweiligen Systeme sinnvoll in einen übergeordneten Code zu überführen. Für Verkehrsinfrastrukturgroßprojekte entsteht dadurch ein Gebilde, welches sich aus den systemimmanenten Systemdimensionen sowie den jeweiligen System-Umwelt-Differenzen konstituiert. Es ist zu erwarten, dass daraus als Emergenz eine Optimierung des Projekterfolges resultieren kann.

### 3.5 Aspekte als Blickwinkel auf Systeme

Für die Darstellung und Abstraktion können Systeme aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden, welche man auch als „Systemaspekte“ bezeichnet (HABERFELLNER 2012). Daraus lassen sich wiederum Modelle ableiten. MAIER (2009) beschreibt hierzu die in Abbildung 5 dargestellten sechs Perspektiven.

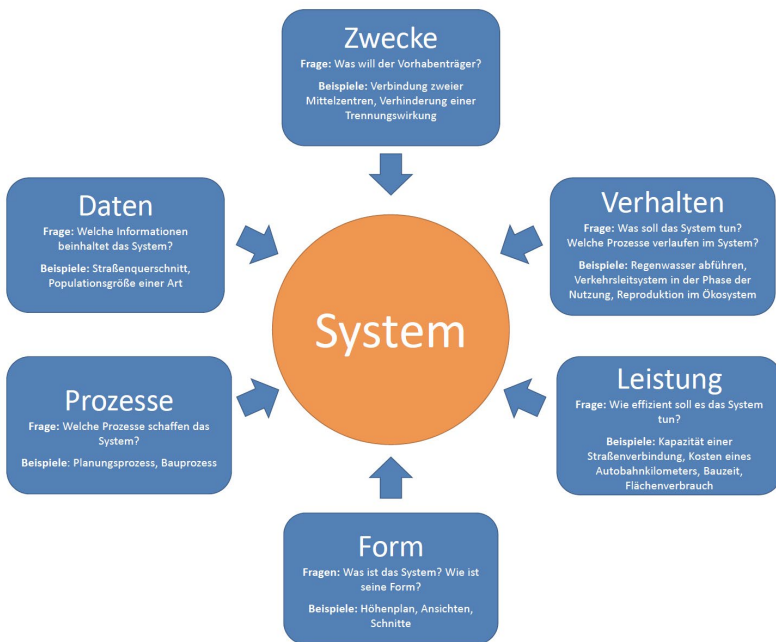


Abbildung 5: Aspekte des Systems „Verkehrsinfrastrukturprojekt“ (vgl. MAIER 2009).

Ebenso wie das *SuL*-System (Straße und Landschaft) kann auch der Planungsprozess als ein aus Einzelplanungen bestehendes Gebilde betrachtet werden, welche miteinander in einen logischen Zusammenhang gebracht werden, da eine Gesamtplanung nicht als bloße Summe von Teilprozessen angestrebt wird. Das gilt analog auch für den Bauprozess. Damit wird der Prozessaspekt des *SuL*-Systems selbst zum System. Zwischen dem *SuL*-System und dem System der Planungsprozesse (nachfolgend *P*-System genannt) besteht eine strukturelle Kopplung (zumindest zwischen den autopoietischen Systemen, vgl. Abschnitt 3.4).

Wegen der strukturellen Kopplung werden in den nachfolgenden Überlegungen Straße und Landschaft als System (**SuL-System**) sowie der Planungsprozess als System (**P-System**) betrachtet. Die Transformation von SuL wird durch die Begriffe des 0- und 1-Systems definiert (vgl. Abschnitt 3.6).

Darüber hinaus kann der Wunsch nach einer Termin- und Kostenoptimierung des Bauprozesses als Blickwinkel bzw. Systemaspekt „Leistung“ auf das System des Bauprozesses betrachtet werden. Es ergibt sich die in Abbildung 6 gezeigte Konstellation eines Systemaspektes zweiter Ordnung mit einer strukturellen Kopplung zwischen dem SuL-System und dem Bauprozess-System.

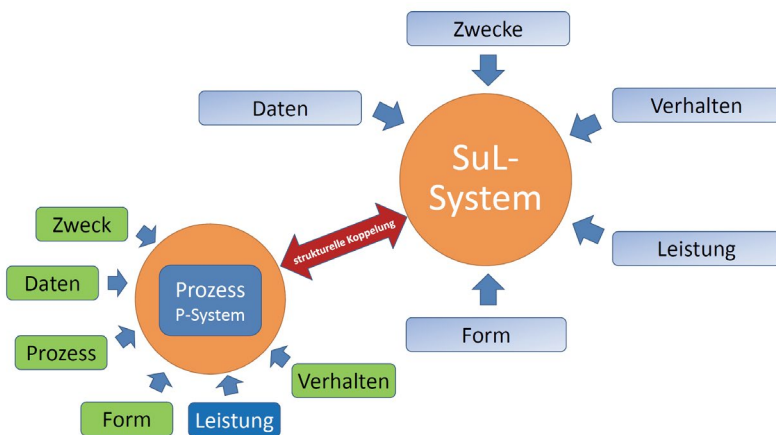


Abbildung 6: Systemaspekt 2 – Ordnung und strukturelle Kopplung (eigene Darstellung).

LUHMANN (2015) verwendet für den Blick auf ein System den Begriff der **Beobachtung** und verweist auf den dabei vorhandenen „blinden Fleck“ (LUHMANN 2017); dieser müsse aber in Kauf genommen werden, um „überhaupt [...] beobachten [zu] können“ (LUHMANN 2017).

Die Berücksichtigung der Systemaspekte besitzt Relevanz für

- das Minimieren des blinden Flecks;
- das Erfassen aller wesentlichen Informationen, Wirkbeziehungen und strukturellen Kopplungen im System – eine Bundesfernstraße kann nicht ohne Planungs- und Bauprozess entstehen;
- die Entwicklung von Modellen (Formmodelle, Verhaltensmodelle, Prozessmodelle etc.);
- die Vorgehensweise der Definition von Projektzielen.

Gerade bei der Definition von Projektzielen im Projektmanagement finden die Systemaspekte nur indirekt über die Zielbeziehungsmatrix Berücksichtigung. Darin werden die Ziele auf ihre Korrelation überprüft (vgl. GPM 2019), jedoch ohne explizit den systemischen Kontext mit seinen Eigenschaften, Dimensionen oder Aspekten einzubeziehen. Ebenso wird nicht auf mögliche **dynamische Komplexität** eingegangen. Dies soll in nachstehendem Kapitel erläutert werden.

## 3.6 Dynamische Komplexität von Straße und Landschaft

### 3.6.1 Komplexität und Dynamik

(FEESS 19.02.2018) definiert den Begriff der Komplexität als „Gesamtheit aller voneinander abhängigen Merkmale und Elemente, die in einem vielfältigen aber ganzheitlichen Beziehungsgefüge (System) stehen“. Danach versteht man unter Komplexität „die Vielfalt der Verhaltensmöglichkeiten der Elemente und die Veränderlichkeit der Wirkungsverläufe“ (GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON ONLINE 2018). Unter einem dynamischen System versteht man ein „System von Elementen, die in bestimmten Zuständen [...] sind und deren Dynamik durch ein zeitabhängiges Entwicklungsgesetz beschrieben werden kann“ (MAINZER 2008).

*SuL* sowie deren Planungs- und Realisierungsprozesse erfüllen die vorgenannten Kriterien von Komplexität und Dynamik, da im Verlauf der Systementwicklung (dem Planungsprozess) mit einer interdisziplinären Organisation ein Gebilde entwickelt wird, welches aus einer großen Zahl von miteinander interagierenden Elementen besteht, die sich einzeln wie in ihrem Zusammenwirken über die Zeit verändern können. Dabei erfährt das System eine Transformation vom Ursprungssystem, nachfolgend *0-System* genannt, hin zum Zielsystem, nachfolgend *1-System* genannt (vgl. Abbildung 7). Während dieses Transformationsschrittes können sich darüber hinaus die Zielvorstellungen aufgrund von dynamischen politischen, rechtlichen, verkehrlichen oder gesellschaftlichen Rahmenbedingungen ändern.

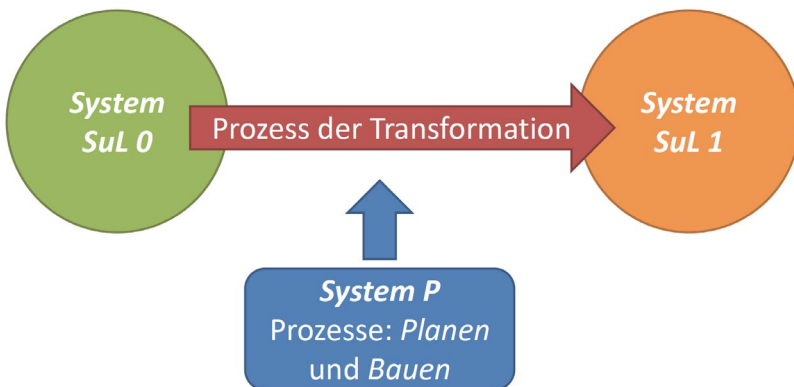
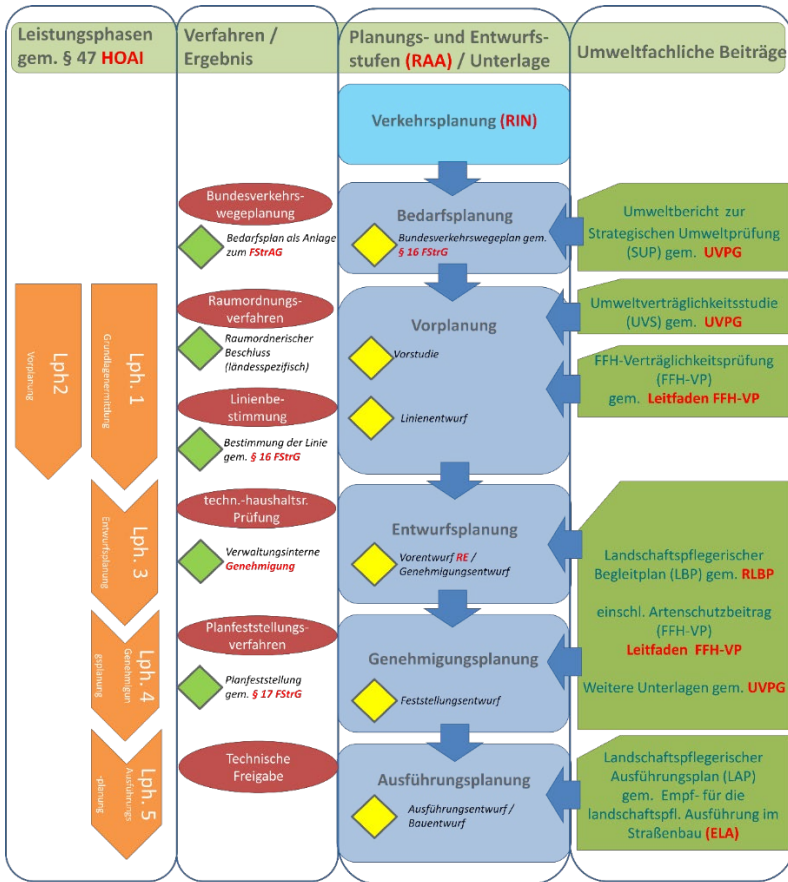


Abbildung 7: Transformation von Straße und Landschaft (*SuL*) vom 0- zum 1-System (eigene Darstellung).

Auch das Ökosystem weist eine enorme Komplexität auf. So beschreibt JACKSON (2019), sich auf CAPRA (1997) beziehend: „We have to understand that each element of an ecosystem is interrelated with others in an extremely complex network of relationships“ (JACKSON 2019). Da Ökosysteme Teil des *SuL-0*- und *SuL-1*-Systems sind, nehmen beispielsweise die Belange des Natur- und Umweltschutzes mit

ihren umweltfachlichen Beiträgen, welche in Abbildung 8 den Planungs- und Entwurfsstufen, den Verfahrensschritten sowie den Leistungsphasen gegenübergestellt werden, in Bezug auf die Komplexität einen besonderen Stellenwert ein. Dieses erfordert einerseits systemisches Denken unter besonderer Berücksichtigung der zuvor genannten Beiträge, andererseits einen Weg zum Umgang mit der Komplexität (vgl. Abschnitt 3.7).





**Legende:**

- ← Abhängigkeiten    
 ◆ Unterlagen    
 ◆ Ergebnisse

Abbildung 8: Zusammenfassende Darstellung von Leistungsphasen, Planungs- und Erfahrungsschritten sowie umweltfachlicher Instrumente (eigene Darstellung in Anlehnung an (BRACHER & BÖSL 2017). Rote Schrift = normative Setzungen. Abkürzungen: FStrG = Bundesfernstraßengesetz (28.07.2007, zul. geä. 29.11.2018), FStrAbG = Fernstraßenausbaugesetz (20.01.2005, zul. geä. am 23.12.2016); HOAI = Honorarordnung für Architekten und Ingenieure; Lph. = Leistungsphase gemäß HOAI; RAA = Richtlinien für die Anlage von

*Autobahnen (2008); RE = Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (2012); RIN = Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (2008); RLBP = Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (2011); UVPG = Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (24.02.2010, zul. geä. am 13.05.2019).*

In komplexen dynamischen Systemen sind Aussagen über zukünftige Systemzustände nur schwer zu treffen, da es selbst den Fachplanenden schwerfällt, alle Interaktionen zu überblicken. Ein Grund dafür findet sich insbesondere in Rückkopplungen, welche vorliegen, wenn eine „Wirkung [...] auf die Ursache zurück[wirkt]“ (BEETZ 2016).

BOSEL (2004) stellt verschiedene Stufen von Rückkopplungen in komplexen dynamischen Systemen vor und kommt zu dem Ergebnis, dass bei einem Eingriff in die Systemstruktur – und ein solcher Eingriff kann bei der Realisierung einer Bundesfernstraße angenommen werden – selbstorganisierend geregelt werden muss. Dazu sind soziale Systeme sowie Ökosysteme fähig, nicht jedoch einzelne Organismen (vgl. KRIEGER 1998). Das macht **sinngesteuertes, systemisches Denken** bei der Gestaltung der Planungsprozesse unabdingbar, um den Projekterfolg zu optimieren. Dieses bedeutet auch, dass Entitäten mit ihren Interdependenzen untereinander betrachtet werden (vgl. SIMON 2017).

### 3.6.2 Chaos in dynamischen nichtlinearen Systemen

Dynamische Systeme weisen häufig chaotisches Verhalten auf, indem unwesentliche Änderungen in den Anfangsbedingungen zu unterschiedlichem Systemverhalten führen können (vgl. BOSEL 2004, WEIBEL 2017, JACKSON 2019). Dennoch gibt es Systemzustände, Attraktoren genannt, in welche chaotische Systeme hineingezogen werden (vgl. MAINZER 2008, BRIGGS & PEAT 1995, BOSEL 2004). In Projekten der Verkehrsinfrastruktur können beispielsweise Verbandsklagen zu Instabilität führen; das System befindet sich in einem labilen Zustand und „ist bestrebt seinen Stabilitätszustand nach einer Störung

wieder herzustellen“ (BORGERT 2012). Eine Instabilität des *P-Systems* lag beispielsweise nach dem Baustopp der A20 vor, nachdem das Bundesverwaltungsgericht den Planfeststellungsbeschluss für „rechtswidrig und nicht vollziehbar“ erklärte (BVerwG, Pressemitteilung Nr. 82/2018). Instabilitäten und Bifurkationen in den *SuL*- sowie *P-Systemen* gilt es zu identifizieren und mittels eines optimierten Ordnungssystems zu beeinflussen.

## 3.7 Dekomposition als Werkzeug zum Umgang mit der Komplexität

### 3.7.1 Grundlagen der Dekomposition

Angesichts seines multidisziplinären Gepräges mit der jeweils enormen Zahl notwendiger Einzelplanungen kann der gesamte Planungsprozess nicht von einem einzelnen Planenden ausgefüllt werden. Daher stellt die Dekomposition, also das Aufteilen eines Ganzen in mehrere Teile, ein wirkungsvolles Instrument dar, um mit dieser Komplexität umzugehen (VGL. BEYER ET AL. 2018, CRAWLEY ET AL. 2016, SCHNEEWEIß 1992, BECHTEL & RICHARDSON 2010, HABERFELLNER 2012). Damit müssen die Projekte parallel sowohl aus der Ingenieursperspektive als auch der Perspektive des Naturschutzes betrachtet werden. „Da beide Wissensgebiete [...] indessen so umfangreich [sind], dass sie wohl kein Einzelner in seiner Person vereinigen kann“ (BRACHER & BÖSL 2017), ist es erforderlich, den **Planungsprozess zu dekomponieren**. Damit wird Komplexität reduziert – ein weiteres Mittel zum Umgang mit Komplexität (vgl. WEIBEL 2017). Eine häufige – allerdings räumliche, weniger disziplinäre – Form der Dekomposition bei der Planung von Bundesfernstraßen geschieht über die Aufteilung der Trasse in Planungsabschnitte.

Bei der Dekomposition des *P-Systems* werden erste Entscheidungen darüber getroffen, wie die Anforderungen und Ziele an das *SuL-1-System* unter Zuhilfenahme der Planungs- und Prüfinstrumente in eine konkrete Planung umgesetzt werden sollen.

Später in der Phase der Umsetzung werden die einzelnen Ergebnisse der Planung zu einem Ganzen zusammengefügt (**Rekomposition**). Diese Rekomposition erstreckt sich in Großprojekten häufig über einen längeren Zeitraum. Es wird angenommen, dass für den idealen Fall einer holistisch motivierten Dekomposition eine vollständige und gezielte Informationsweitergabe an alle relevanten Akteur:innen stattfindet. Diese ist essenzielle Voraussetzung für eine reibungslose Aggregation (Rekomposition), wonach in der Phase der Systemrealisierung (Bauphase) keinerlei korrektive Maßnahmen notwendig werden, was wiederum die Wahrscheinlichkeit des Projekterfolgs erhöht.

Im umgekehrten Fall führt eine reduktionistisch motivierte Dekomposition nicht zum Erfolg, denn im Verlauf des in der Realität häufig langwierigen Prozesses der Systemrealisierung werden Schwächen in der Rekomposition in der Form offenbar, dass das Ist-System (*0-System*) vom Soll-System (*1-System*) abweicht. Als Folge werden zeit- und kostenintensive regulative Maßnahmen getroffen, um die Subsysteme miteinander zu einem Gesamtsystem zu verbinden (Systemintegration). Daraus könnten auch höhere Aufwände sowie höhere Kosten für den Rückbau resultieren (Abbildung 9).

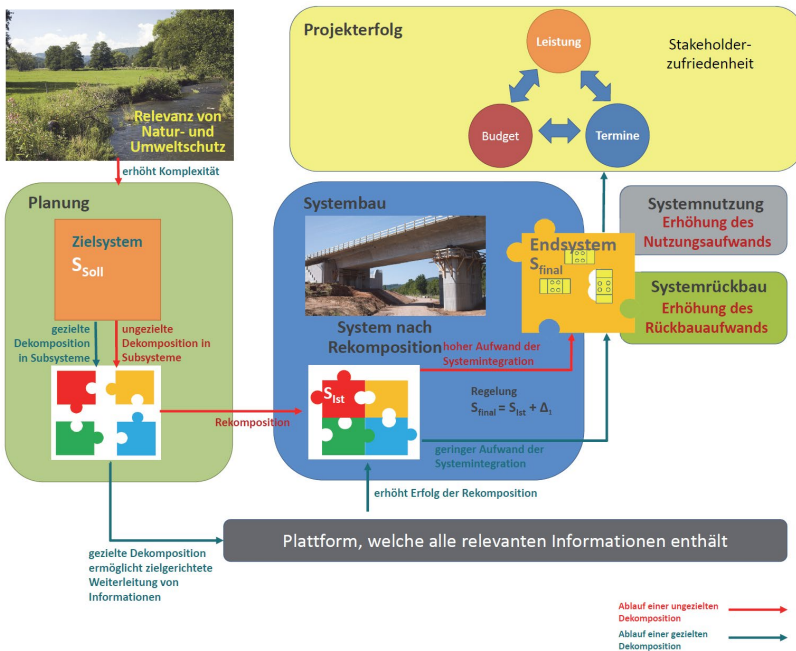


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Naturschutzrelevanz, Komplexität, Dekomposition und Projekterfolg im Vergleich zwischen ungezielter (rote Pfeile) und gezielter Dekomposition (grüne Pfeile).

Die Dekomposition des *P-Systems* stellt für das 0- und 1-System ein gedankliches Aufbrechen des Ordnungsprinzips dar. Damit die in Abbildung 9 genannten negativen Effekte nicht eintreten, empfiehlt es sich, die Dekomposition unter holistischen Gesichtspunkten durchzuführen. Bevor dekomponiert werden kann, muss jedoch, zumindest auf einer abstrakten Ebene, das Ordnungsprinzip des 0-Systems bekannt sein – und dazu bedarf es einer tiefergehenden Analyse. Diese kann über die Bildung eines Modells der *SuL-Systeme* realisiert werden.

### 3.7.2 Modellbildung

Die Bildung von Modellen ist ein wichtiges Hilfsmittel, denn jene bieten die Möglichkeit, die Auswirkungen von Änderungen von Systemgrößen und ihrem Ordnungssystem zu erforschen, um daraus Hinweise für Systemoptimierungen ableiten zu können, ohne dabei in das real existierende System eingreifen zu müssen (vgl. MAIER 2009, CRAWLEY et al. 2016, BOSSEL 2004). Gerade vor dem Hintergrund der Komplexität, der Risiken sowie der langen Projektlaufzeiten von Verkehrsinfrastrukturgroßprojekten erscheint ein iteratives Vorgehen am Modell bei der Optimierung des Projekterfolgs geboten.

## 3.8 Perspektivwechsel in der Planungspraxis

### 3.8.1 Zusammenführung der Ergebnisse aus den Abschnitten 3.1 bis 3.7

- Straße und Landschaft (*SuL*-System) sowie die Planungs- und Bauprozesse (*P*-System) bilden komplexe, dynamische Systeme, welche aus technischen, sozialen, abiotischen und biotischen Dimensionen mit unterschiedlichen Eigenschaften und Wirkräumen bestehen können (vgl. Abschnitte 3.3, 3.4, 3.6).
- Das *SuL*-System ist mit dem System der Planungs- und Bauprozesse strukturell gekoppelt (vgl. Abschnitt 3.5). Da durch Planen und Bauen in das *SuL*-System eingegriffen wird, nimmt der Prozessaspekt des *SuL*-Systems eine herausragende Stellung ein
- Die Veränderungen des Ordnungsprinzips bzw. der Systemarchitektur des *SuL*-Systems werden über die Planungs- und Entwurfsstufen immer stärker konkretisiert (vgl. Abschnitt 3.2 und 3.4).
- Trotz dynamischer Komplexität werden Wechselwirkungen nicht oder kaum systemisch betrachtet (vgl. Abschnitt 3.4).

Dieses erfordert eine holistische Betrachtung des *SuL*-Systems auf der Grundlage eines Sinns (vgl. Abschnitt 3.4) sowie eine systemische Herangehensweise mit Identifikation von Instabilitäten.

### These

Die Lösung der bislang nicht ausreichend beherrschten Komplexität von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur erfordert einen Perspektivwechsel – fort von einem reduktionistischen, das Straßenbauwerk sowie Einzelaspekte der Umwelt voneinander losgelöst betrachteten Vorgehen, hin zu einem holistischen, die Belange des Natur- und Umweltschutzes untereinander sowie in die Betrachtung des Planungsgegenstandes „Straße und Landschaft“ als systemintegrierenden Ansatz. Dazu sind **die Systemgrenzen deutlich zu erweitern**, indem nicht nur die direkten, grenzüberschreitenden, gegenseitigen Einflüsse zwischen Straße und Umwelt in Systemarchitektur und -design mit einbezogen werden, sondern auch deren Wirkbeziehungen untereinander. Die Transformation der Systemarchitektur vom *0-* zum *1-System* sollte normativ geregelt, systemisch und transdisziplinär erfolgen.

Nachfolgende Betrachtungen bejahen diese These. Dieser mögliche Lösungsansatz für das Optimierungsproblem des Projekterfolgs soll im Rahmen weiterer Forschung überprüft werden.

#### 3.8.2 Ein Perspektivwechsel als Lösungsansatz

Zunächst folgt aus der These eine **Steigerung der Komplexität des Planungsgegenstands**, welchem mit einer **ganzheitlichen Bewältigungsstrategie** begegnet wird (vgl. Abbildung 10):

- Das erste Instrument dieser Strategie bezieht die fachlichen Einwände von Trägern öffentlicher Belange sowie die Interes-

sen weiterer Akteur:innen (z.B. Bürgerinnen und Bürgern) mittelbar in die Betrachtungen mit ein. Das geschieht über das Management der Stakeholder hinaus mittels des in Abschnitt 3.4 genannten **Transzendierens**, des Erweiterns der Systemgrenzen. Dieses kann beispielsweise inhaltlich oder räumlich innerhalb einer Systemdimension oder auch systemdimensionsübergreifend geschehen. HABERFELLNER (2012) empfiehlt, bei der Gestaltung eines Systems auch die über- und untergeordnete Systemebenen zu betrachten. MAIER (2009) bemerkt hierzu: „One person’s system is another person’s component“.

- Durch das zweite Instrument, der Analyse und Modellbildung, werden die Schnittstellen und Wirkbeziehungen innerhalb des Gesamtsystems analysiert und abgebildet. Aufgrund der Vielschichtigkeit des Gesamtsystems (Systemdimensionen, Systemaspekte, Multidisziplinarität) soll dieses unter Einbeziehung wesentlicher Stakeholder in einem Workshop geschehen. Damit entsteht für das **zukünftige** Gesamtsystem (*1-System*) ein Ordnungsprinzip. Da soziale Systeme Sinnsysteme darstellen und technische ebenso wie abiotische Systeme fremdgesteuert sind (vgl. Tabelle 1) ist ein Ordnungsprinzip auf der Grundlage eines Sinnes zwingend erforderlich. In Anlehnung an WITTGENSTEIN (2014) „[muss] der Sinn der Welt [...] außerhalb ihrer liegen“. Als Sinn wird das „Kriterium der Lebensfähigkeit“ (VESTER 2015) des Gesamtsystems herangezogen. Dieser **Sinn** muss demnach auf die **Systemstabilität** ausgerichtet sein.
- Nachdem das Gesamtsystem mittels eines holistischen Ansatzes abgebildet wurde, soll im dritten Schritt durch eine auf den Sinn orientierte **Dekomposition der Planungsprozesse** die Komplexität holistisch motiviert reduziert und damit die **Systemeffizienz** erhöht werden. Dazu werden die Planungsprozesse und die Kosten als **Teilsysteme** abgebildet und modelliert.



Eine holistisch motivierte Dekomposition sowie die Tatsache, dass es sich bei den *SuL-Systemen* sowie dem *P-System* um komplexe dynamische Systeme handelt, erfordert über den gesamten Systemlebenszyklus – als viertes Instrument – die Implementierung einer/eines Akteur:in, welche:r ein Verständnis für die Wirkzusammenhänge innerhalb des *SuL-* sowie des *P-Systems* besitzt. In verschiedenen technischen Disziplinen hat sich hierzu die Rolle des **Systemarchitekten/der Systemarchitektin** etabliert. Diese könnten beispielsweise sicherstellen, dass bei der Dekomposition die Wirkbeziehungen im Rahmen der UVPG unter systemischen Gesichtspunkten im Verbund des *SuL-Systems* Berücksichtigung finden. Das liegt darin begründet, dass die Auswirkungen einer Maßnahme auf die Schutzgüter betrachtet werden sollen, diese jedoch von den gesamten Rückkopplungsmechanismen abhängig sind. Die Notwendigkeit zur Implementierung des Systemarchitekten / der Systemarchitektin ergibt sich auch aufgrund der strukturellen Kopplung zwischen dem Prozesssystem und dem *System SuL* sowie der Tatsache, dass sich Projekte in der „Gesamtheit der Bedingungen“ (GPM 2019) unterscheiden. Damit muss auch die Systemarchitektur fortlaufend neu bewertet werden.

Die Aufgaben des/der Systemarchitekt:in sollten insbesondere darin liegen,

- das System als Ganzes zu modellieren und dabei den Betrachtungshorizont systemdimensionsübergreifend festzulegen und dabei die Eigenschaften und Aspekte der über- und untergeordneten Systeme zu berücksichtigen,
- das Modell des Systems zu untersuchen und zu simulieren – als Ergebnis sollen Instabilitätspunkte sowie Attraktoren identifiziert werden,

- durch einen übergeordneten Blick auf die UVS und die weiteren anzuwendenden Prüfinstrumente des Natur- und Umweltschutzes deren vollumfängliche, qualitativ hochwertige Abarbeitung zu gewährleisten und damit für das Projekt die Planungssicherheit zu erhöhen,
- die Systemrealisierung zu begleiten,
- die Dekomposition der Planungsaufgaben zu unterstützen.

Die/der Systemarchitekt:in nimmt damit eine Schlüsselstellung für **Systemstabilität und Systemeffizienz** und damit für den Projekterfolg ein. Dies erfordert einen **Bewertungsmaßstab für den Projekterfolg**, welcher das fünfte Instrument darstellt. Dieser muss projektindividuell, jedoch innerhalb des Rahmens des Sinns in der frühen Planungsphase definiert werden; auf eine tiefergehende Erläuterung wird an dieser Stelle verzichtet.



Abbildung 10: Elemente des Lösungsansatzes (eigene Darstellung).

### Elemente des Lösungsansatzes

- Systemgrenzen transzendieren und damit Straße und Landschaft (SuL) als ein System betrachten
- Implementieren einer/eines Systemarchitekt:in als Spezialisten für den Umgang mit der Komplexität des SuL-Systems
- Analyse der Wirkbeziehungen und Modellbildung dieses Systems
- Dekomposition der Planungsprozesse mit Blick auf den Erhalt der Lebensfähigkeit des SuL-Systems
- Schaffung eines Bewertungsmaßstabs für den Projekt- sowie Systemerfolg

### 3.8.3 Identifikation des Forschungsbedarfs

Aus den vorgenannten Überlegungen lässt sich ein Forschungsbedarf ableiten. So müssen geeignete Methoden kreiert werden, um bei der Planung künftiger naturschutzrelevanter Großprojekte den Projekterfolg durch Modellbildung und Dekomposition zu optimieren. Dazu sollte ein Verfahren zur Messung des Erfolgs bei Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur entwickelt werden.

Im Rahmen des übergeordneten Projekts „Umgang mit der Komplexität naturschutzrelevanter Verkehrsinfrastrukturgroßprojekte“ an der Hochschule Geisenheim University (HGU) sollen die Wechselwirkungen der Komplexität der Planung mit der Relevanz des Naturschutzes sowie der Qualität der Dekomposition untersucht werden. Dem liegen zwei Hypothesen zugrunde, deren Zusammenhang Abbildung 11 zeigt:

1. Je höher die Qualität der Dekomposition, desto größer der Erfolg.
2. Je stabiler das System in Bezug auf Verhalten und Zweck, desto größer ist der Erfolg.

Die Komplexität wird dabei explizit nicht als Ursache für Misserfolg in Projekten gesehen; vielmehr verstellt die Komplexität den Blick auf die wahren Ursachen.

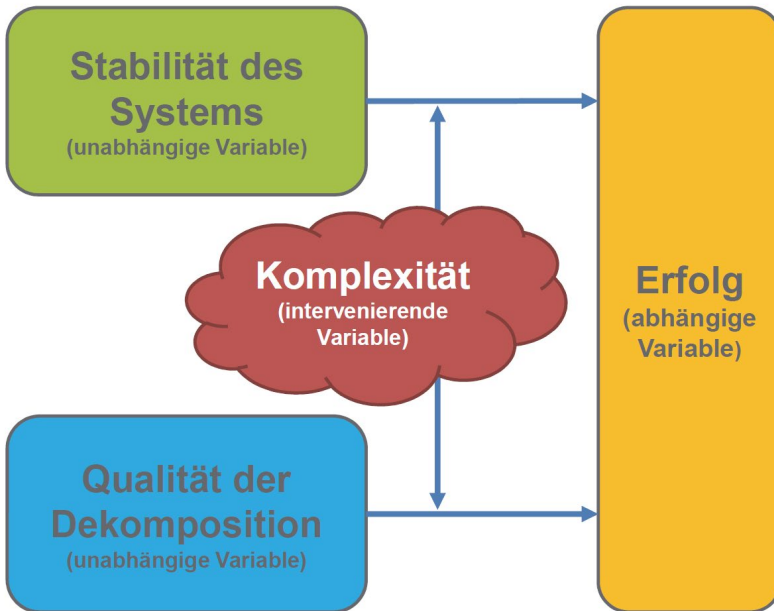


Abbildung 11: Zusammenhang der Hypothesen.

### 3.9 Ausblick

Die Relevanz des Naturschutzes ist bei Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur aufgrund der tiefgreifenden linearen und flächigen Beeinflussung von Natur und Landschaft groß. Aus dem Perspektivwechsel ergibt sich eine enorm gewachsene Komplexität der Planungsprozesse. Die derzeit angewendeten Lösungsansätze greifen zu kurz und müssen durch einen holistischen Ansatz ersetzt werden. Daher bedarf es einer konsequenten Umsetzung des Perspektivwechsels in die planerische Praxis.

Für den Umgang mit der Komplexität ist zu empfehlen, bei künftigen Planungen für Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur die Rolle einer/eines für das konkrete Projekt verantwortlichen **Systemarchitekten/Systemarchitekten** zu implementieren, welche(r) die Folgen von

Planung, Abwägung, Emergenz sowie des Zielsystems auf den Projekterfolg einschätzen kann. Dazu wird es notwendig sein, den Projekterfolg und dessen Faktoren möglichst exakt und messbar zu definieren und die Frage zu beantworten, wie der Erfolg naturschutzrelevanter Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur gemessen werden kann.

Man kann Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur auch als Multistakeholder-Projekte bezeichnen. Damit nimmt die Stakeholder Zufriedenheit und deren Einfluss auf den Erfolg eine herausgehobene Stellung ein. Hierzu besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

Die genannten Maßnahmen können derzeit nur freiwillig innerhalb des bestehenden rechtlichen Rahmens umgesetzt werden; allerdings wird eine **Rechtsetzung** zwecks Stärkung des Systemgedankens dringend empfohlen. Damit würde Sinn normativ gesetzt. Konkret könnte das Folgendes bedeuten:

- Die Sicherstellung der Lebensfähigkeit des Gesamtsystems als übergeordnetes Ziel wäre normativ festzusetzen.
- Im Planungsrecht wäre eine normative Festsetzung der Rolle der Systemarchitektin/des Systemarchitekten erforderlich.

Neben den Interessen der Naturschutzbehörden sowie von Natur- und Umweltverbänden sollte der holistische Gedanke auch im Interesse der Vorhabenträger liegen, da es denkbar ist, dass durch eine Hervorhebung der Systemstabilität einzelne Schutzgüter weniger für den Widerstand instrumentalisiert würden. Damit würde die Planungssicherheit gestärkt und möglicherweise die Zeitspanne der Baurealisierung verkürzt werden. Durch die Erweiterung der Systemgrenzen, verbunden mit der Analyse und Modellierung des Systems, lassen sich die Auswirkungen einzelner Parameter besser visualisieren. Daraus könnte eine verbesserte Kommunikation sowie eine Verringerung von Konflikten zwischen Vorhabenträgern und Naturschutzverbänden/-behörden resultieren. Eine Reduktion der Zahl von Verbandsklagen

könnte Projektverzögerungen reduzieren und helfen, Budgetüberschreitungen zu vermeiden. Dies hätte auch eine geringere Wahrscheinlichkeit von Imageverlusten für die Konfliktparteien zur Folge.

Die in Abschnitt 3.4 aufgestellten Ziele für einen Perspektivwechsel würden mit diesem Vorgehen erfüllt:

#### **Erfüllung der Zielsetzungen für den Perspektivwechsel**

- Ein holistischer Planungsansatz als Folge des Transzendierens wurde als Betrachtungshorizont für die Planung empfohlen.
- *Modellbildung*, *Simulation* und *Dekomposition* wurden als Werkzeuge für den Umgang mit der Komplexität des Systems *Straße und Landschaft* vorgeschlagen.
- Mit der/dem Systemarchitekt wurde die Implementierung einer/eines neuen Akteur:in vorgeschlagen, welche:r die vorgenannten Methoden und Werkzeuge anwendet
- Die Systemstabilität wurde als übergeordnetes Ziel des Perspektivwechsels ermittelt.

Trotz der Tatsache, dass diese Ausarbeitung, wie in Abschnitt 3.2 ausgeführt, nur die fachliche Grundlage für tieferegehende Forschung darstellt, gibt sie dennoch Hinweise für die Praxis (siehe Fazit-Kasten).

## Fazit für die Praxis

- Die Lösung des Problems mangelnden Projekterfolgs (insbesondere bei der Umsetzung der naturschutz- und umweltfachlichen Ziele) kann durch einen holistischen Planungsansatz unter Erweiterung der Systemgrenzen und Betrachtung des gesamten Systems „Straße und Landschaft (SuL)“ gelingen.
- Auch ohne Rechtsetzung wird das Implementieren einer Systemarchitektin/eines Systemarchitekten ab der Planungs- und Entwurfsstufe der Bedarfsplanung empfohlen.
- Die Orientierung an der Systemstabilität über eine systemische Betrachtung von Wechselwirkungen ist bereits im Rahmen der UVS möglich.
- Ein fortlaufendes Modellieren des SuL-Systems hilft, jene neuralgischen Punkte (Bifurkationen) in Projekten zu erkennen, an welchen kleinste Parameteränderungen das Vorhaben in verschiedene Richtungen lenken können. Dabei gibt es Systemzustände mit besonders großer Anziehung (Attraktoren), beispielsweise Konflikte oder ein Planungs- oder Baustopp.



## 4 Paper 2: Definition des Erfolgs der Transformation des Systems Straße und Landschaft im Rahmen naturschutzrelevanter Multistakeholder-Großprojekte

Dieses Kapitel ist für eine spätere Veröffentlichung vorgesehen.

### 4.1 Einleitung

Verkehrsinfrastrukturgroßprojekte bergen für viele Stakeholder u.a. finanzielle, technische und soziokulturelle Risiken in sich. Zudem werden sie in der Öffentlichkeit häufig negativ wahrgenommen. So zeigt eine computergenerierte Wortwolke des Duden online den Begriff „Großprojekt“ z.B. gemeinsam mit den Begriffen „prestigeträchtig“, „unsinnig“, „umstritten“ sowie „teuer“ und stellt ihn damit in einen überwiegend negativen Kontext (Abbildung 12).



Abbildung 12: Wortwolke in Verbindung mit dem Wort "Großprojekte" (DUDEN ONLINE 02.01.2022).

Werden die naturschutzrechtlichen Prüfinstrumente nicht rechtssicher abgearbeitet, drohen gerichtliche Klagen anerkannter Umweltverbände. So bewertete das Bundesverwaltungsgericht beispielsweise

den Planfeststellungsbeschluss des Verkehrsministeriums Schleswig-Holsteins für den Neubau der Bundesautobahn A 20 im Abschnitt 4 (Autobahnkreuz A 7/A 20 bis B 206 westlich Wittenborn) vom 27. April 2017 für „rechtswidrig und nicht vollziehbar“, nachdem u.a. zwei Umweltverbände dagegen geklagt hatten (BVERWG 2018).

Konflikte zwischen (behördlichen wie verbandlichen) Vertreter:innen des Naturschutzes einerseits sowie Vorhabenträgern und Behörden andererseits tragen zu einer verstärkten öffentlichen Wahrnehmung bei, was zu einem Akzeptanzverlust von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur führt (vgl. LISETSKA 2017).

Die VDI (2014) sieht gar einen Wandel im gesellschaftlichen Klima: „In der Bevölkerung hat sich ein neues Legitimationsverständnis entwickelt: In modernen Gesellschaften werden Entscheidungen nicht mehr automatisch als legitim empfunden, nur weil sie formal rechtmäßig zustande gekommen sind“ (VDI 2014). Dies kann zu Widerständen führen, welche mediale, politische und/oder rechtliche Auseinandersetzungen auslösen. Typische Akteur:innen des Widerstands sind u.a. einzelne Bürger:innen, Bürgerinitiativen und gemäß Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz (UmwRG) bzw. BNatSchG anerkannte Verbände. Diese engagieren sich sehr stark bei der Planung und Ausführung von Bauvorhaben (vgl. GOBERT 2016), auch wenn sie keine Träger öffentlicher Belange sind (vgl. SPANG 2016). Sofern sie jedoch nach § 3 UmwRG als Naturschutzvereinigung anerkannt sind, können sie „Verstöße gegen naturschutzbezogene Vorschriften gerichtlich rügen“ (ERBGUTH & SCHLACKE 2016). Nach § 63 BNatSchG ist „ihnen Gelegenheit zur Stellungnahme und zur Einsicht in die einschlägigen Sachverständigengutachten zu geben“.

Für den Vorhabenträger sind insbesondere die finanziellen Risiken nachträglicher Planänderungen enorm (vgl. GOBERT 2016). Eine 2004 durchgeführte Analyse von Straßenverkehrsprojekten in 20 Ländern auf fünf Kontinenten zeigt, dass neun von zehn Projekten das Budget überschreiten, bei einer durchschnittlichen Überschreitung um 28 %. Der Autor verweist diesbezüglich auf einen Zusammenhang zwischen

der Dauer der Planungsphase und den Kostenüberschreitungen (vgl. FLYVBER ET AL. 2004).

Aus der negativen öffentlichen Wahrnehmung, den Widerständen gegenüber den Projekten und den sich daraus ergebenden Konflikten sowie den erheblichen Kostenüberschreitungen lässt sich folgern, dass viele Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur als nicht erfolgreich bezeichnet werden können.

In Abschnitt 3.8.2 wird für diese Projekte vorgeschlagen, einen Perspektivwechsel vorzunehmen und die Systemgrenzen deutlich zu erweitern. Demnach soll nicht mehr allein die Straße in ihrem Umfeld betrachtet werden, sondern sehr viel umfänglicher die Transformation des Ursprungssystems (0-System) hin zu einem System, in welches die Straße integriert wurde (1-System). Diese Transformation wird prozessual gestaltet und umgesetzt von einem System aus Planenden und Ausführenden, dem *P-System*, welches daher mit dem *SuL* System strukturell gekoppelt ist.

Der Schritt des Transzendierens der Systemgrenzen stellt eine Abkehr vom traditionellen Projektdenken dar, indem die Umwelt des Planungsgegenstands Straße gemeinsam mit der Straße zum **Planungsgegenstand Straße und Landschaft (SuL)** wird. Dabei subsummiert der Begriff der Landschaft nicht nur den ländlichen, sondern explizit auch den urbanen Raum. Es folgt, dass durch den Schritt des Transzendierens auch ein Schritt von der Planung und Umsetzung eines technischen Systems hin zu einer Integration eines technischen Systems in ein übergeordnetes System gegangen wird.

Mit dieser Erweiterung steigt die Komplexität, denn statt der Planung und Realisierung eines technischen Systems „Straße“ sind auch noch biotische, abiotische und soziale Systeme mit ihren Wechselwirkungen zu berücksichtigen, den **Systemdimensionen** (vgl. Abschnitt 3.4).

Da Ziele in einem engen Zusammenhang mit dem Erfolgsbegriff stehen, ergibt sich bei Annahme des Perspektivwechsels ein Bedarf, den **Erfolg der Transformation** des Systems *SuL* als Begriff zu definieren, um diesen als Bemessungswerkzeug heranziehen zu können.

## 4.2 Fragestellung, Material und Methoden

### Fragestellung

Angelehnt an das in Abschnitt 3.8.2 vorgeschlagene Lösungsprinzip, wird nachfolgend der Schritt des Transzendierens hin zu einem System Straße und Landschaft vorausgesetzt. Durch diese Betrachtung wird die in der heutigen Planungsrealität pragmatisch übliche reduktionistisch motivierte Abstraktion der Wirklichkeit, welche in Planungsgegenstände unterschiedlicher Systemdimensionen dekomponiert wurde, überwunden. Die vernachlässigt die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Entitäten. Mit dem Transzendieren der Systemgrenzen vergrößert sich auch der Gegenstand, auf welchen der Erfolgsbegriff anzuwenden ist. Daraus entwickelt sich die Forschungsfrage:

Wie kann der Erfolg des Gesamtsystems Straße und Landschaft bei der Transformation im Rahmen von Multistakeholder-Großprojekten bestimmt werden?

Neben der Definition des Erfolgs ist es wichtig, einen Weg für den Umgang möglicher Zielkonflikte innerhalb des Zielsystems aufzuzeigen. Dazu soll geprüft werden, welche Ziele im System *SuL* existieren, wer die Akteur:innen sind und wie sie rationale Entscheidungen in einem komplexen Umfeld treffen können. Die Notwendigkeit der Abwägung alternativer Ziele, aber auch alternativer Handlungen, die eine Zielerfüllung anstreben, leiten zu einer ethischen Betrachtung über. Welches Ziel ist moralisch erstrebenswert und welche Handlung ist moralisch die richtige?

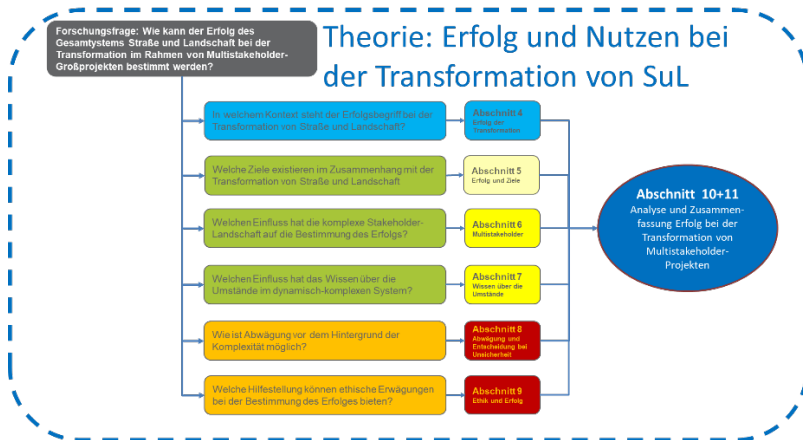


Abbildung 13: Struktur der Fragestellung und deren Beantwortung (eigene Darstellung).

Als Gesamtergebnis soll ein Werkzeug entwickelt werden, mit dessen Hilfe der Erfolg der Transformation des Systems SuL im Rahmen naturschutzrelevanter Multistakeholder-Projekte bewertet werden kann. Abbildung 13 beschreibt die in den folgenden Kapiteln bearbeiteten Teilfragen.

## Material und Methoden

Methodisch steht in dieser Ausarbeitung die **theoriebasierte Exploration** verschiedener Theorien und Disziplinen im Vordergrund. Dazu wird die Fragestellung vor dem Hintergrund der komplexen Multistakeholder-Landschaft, ihrer sektoralen Zielvorstellungen, der **rechtlichen Rahmenbedingungen** sowie der Dynamik der Transformation gestellt. Das Transzendieren hat seinen Ausgangspunkt in der Betrachtung von Projekten. Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Arbeit auch mit der **Projektmanagementtheorie**, insbesondere ihrer Themenfelder Erfolg, Ziele und Stakeholder.

Aufgrund der Notwendigkeit einer Entscheidung zwischen alternativen Zielen einerseits sowie alternativen Mitteln zur Zielerreichung andererseits, ist die Beschäftigung mit der **präskriptiven Entscheidungstheorie** unerlässlich. Die dynamische Komplexität erfordert zudem eine eingehende Analyse verschiedener Theorien, u.a. der **Systemtheorie nach Niklas Luhmann**, der Theorie der **Systems Dynamics nach Jay W. Forrester** sowie in Auszügen der **Keystone Species Hypothesis von Robert Treat Paine**.

Planende greifen in das Ordnungsprinzip komplexer Systeme mit diversen Akteur:innen und vielen (oft sektoralen und differierenden) Zielen ein. Die Beschäftigung mit der **Ethik** als der Lehre vom richtigen Handeln soll Kriterien aufzeigen, welche Ziele und welche Handlungen zur Zielerreichung unter moralischen Gesichtspunkten wünschenswert sind. „Die Ethik ist nicht die Lösung der Weltprobleme, sondern die Steigerung der Sensibilität für sie“ (DALLMANN 2017).

Die Erkenntnisse der Exploration werden **verbal-argumentativ** in einen Vorschlag für den Umgang mit der Komplexität des Zielsystems bei der Transformation von *SuL* überführt.

## Arbeitshypothese

In Abschnitt 3.8.3 wird ein Zusammenhang zwischen der Stabilität des Systems als unabhängige Variable und dem Erfolg als abhängiger Variable vermutet. Je stabiler das System, desto größer ist demnach der Erfolg der Maßnahme. Die Komplexität bildet die intervenierende Variable (vgl. Abbildung 11).

### 4.3 Stand der Forschung

Optimierung durch Berücksichtigung der Faktoren für Projekterfolg und -misserfolg

Es sind mehrere Möglichkeiten denkbar, wie die Abwicklung von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur optimiert werden kann. Ein Ansatz in der Forschung liegt darin, **Faktoren für den Misserfolg** zu identifizieren (Tabelle 2) und diesen mit entsprechenden Vermeidungsstrategien zu begegnen. Des Weiteren bietet es sich an, **Erfolgsfaktoren** in Projekten zu identifizieren (Tabelle 3), um diese in den konkreten Projekten zu verstärken.

*Tabelle 2: Misserfolgsfaktoren in Projekten.*

Misserfolgsfaktoren	Quelle
<ul style="list-style-type: none"> <li>• schlechte Kommunikation</li> <li>• unklare Zieldefinition</li> </ul>	(MÖLLER & DÖRRENBERG 2003)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• unvollständige Bedarfsplanung</li> <li>• Planung nicht detailliert genug</li> <li>• unzureichende Kooperation</li> </ul>	(BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• unklare Projektziele</li> <li>• schlechtes Änderungsmanagement</li> <li>• mangelhafte Machbarkeitsanalyse</li> </ul>	(GPM DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR PROJEKTMANAGEMENT E.V. et al. 2013)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komplexität</li> </ul>	(GRÖSSER 2011) (MAIER 2009)



Misserfolgswirkungen	Quelle
	(BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU- UND REAKTOR-SICHERHEIT 2016)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• träge Projektplanung</li> </ul>	(FLYVBER ET AL. 2004)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektgröße und Zufriedenheit der Kund:innen (<i>Chaos-Studie</i>)</li> </ul>	(THE STANDISH GROUP INTERNATIONAL, INC 2015)

Tabelle 3: Erfolgsfaktoren in Projekten.

Erfolgsfaktoren	Quelle
<ul style="list-style-type: none"> <li>• qualifizierte Mitarbeiter:innen</li> <li>• gute Kommunikation</li> <li>• klare Ziele</li> </ul>	(ENGEL et al. 2008)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• effektive Führung im Projekt</li> <li>• klar spezifizierte Projektziele</li> <li>• partnerschaftliche Projektarbeit</li> </ul>	(ASSOCIATION FOR PROJECT MANAGEMENT 2014)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• hochwertige Planung</li> </ul>	(SPANG 2016)

## Berücksichtigung komplexer Wechselwirkungen

Viele der genannten Faktoren zeigen, dass **Erfolg** bei den Autor:innen der Studien überwiegend mit einer erfolgreichen **Durchführung des Projektes** in Verbindung gebracht wird. Die Erreichung der Ziele, die

**nach der Realisierung** mit dem Projekt erreicht werden sollen, steht hingegen weniger im Fokus. Eine Ausnahme unter den in Tabelle 2 und Tabelle 3 genannten Studien bildet die Chaos-Studie in Tabelle 2, welche explizit auch den Erfolg aus Sicht der Nutzer:innen, den Anwendungserfolg, fokussiert (vgl. THE STANDISH GROUP INTERNATIONAL, INC 2015). Ferner wurden viele Faktoren über Umfragen nach Projektabschluss ermittelt. Dies scheint aber nur sinnvoll und nachvollziehbar im Falle der Annahme eines einfachen Ursache-Wirkungs-Prinzips zwischen den Faktoren und dem Projekterfolg. Gegen eine solche lineare Betrachtung sprechen insbesondere bei Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur folgende Argumente:

- Planung und Bau von Straßen unterliegen notwendigerweise einem multidisziplinäre Handeln. Es werden „die Grundlagen aus vielen anderen Wissensgebieten benötigt“ (BRACHER & BÖSL 2017).
- Aufgrund der großen Zahl an Wirkbeziehungen ist davon auszugehen, dass einige dieser Beziehungen dynamische Eigenschaften aufweisen und sich damit einer einfachen Ursache-Wirkungs-Betrachtung entziehen.
- Im Falle von dynamischen Beziehungen ist die Grundursache häufig nicht offensichtlich. Nur mit großem Aufwand, wenn überhaupt, kann diese in einer Nachbetrachtung eruiert werden.
- Akteur:innen verschiedener Fachdisziplinen verfolgen unterschiedliche Ziele. Deswegen kann der Erfolg nicht linear betrachtet werden.

Folglich ist bei Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur mit komplexen dynamischen Eigenschaften fraglich, inwiefern die in einer Nachbetrachtung statistisch ermittelten Faktoren Rückschlüsse auf die tatsächlichen Ursachen für Erfolg oder Misserfolg der Projekte zulassen.

## Analogie

Die Schwierigkeit linearen Denkens bei komplexen Systemen soll mit der folgenden Analogie aus dem Maschinen- und Anlagenbau verdeutlicht werden:

*Ein:e Ingenieur:in soll eine komplizierte Anlage modernisieren. Sie/Er befragt die/den Anlagenführer:in nach deren/dessen Erfahrungen mit der Bedienung. Von ihr/ihm erfährt sie/er, dass das Drücken des roten Knopfes häufiger zum optimalen Funktionieren der Anlage führt als das Drücken des blauen Knopfes. Das Betätigen des grünen oder des gelben Knopfes bewirkt meist Störungen. Die Knöpfe symbolisieren hierbei die Erfolgs- oder Misserfolgskfaktoren. Es ist zweifelhaft, dass jene aus der Erfahrung gewonnenen Erfolgs- oder Misserfolgskfaktoren bei der Optimierung des Anlageneinsatzes alleinig berücksichtigt werden. Vielmehr wird die/der Ingenieur:in die Stromlaufpläne und Montagezeichnungen studieren, um daraus ein Verständnis für Konstruktion und Funktionsweise der Anlage zu entwickeln.*

Dieses lineare Vorgehen kann nicht nur bei der Modernisierung einer komplexen Anlage falsch sein. Auch bei der Planung und Durchführung komplexer Verkehrsinfrastrukturprojekte muss ein Verständnis über die Interdependenzen der Planungsprozesse im Projekt entwickelt werden. Dies kann auch aus der in Tabelle 2 mehrfach aufgeführten Komplexität als Misserfolgskfaktor abgeleitet werden. „In detail-komplexen Situationen sind komplexitätsreduzierende Methoden hilf-

reich (z. B. Standardisierung, detaillierte Planung). In dynamisch komplexen Situationen sind diese Methoden oft sogar kontraproduktiv; in den meisten projektbezogenen Situationen ist der eigentliche Managementhebel das Verständnis dynamischer Komplexität“ (GRÖSSER 2011). Ein Umdenken fordert auch LANGE (2015) und stellt fest, dass „traditionelle Methoden [...] oft nicht mehr [greifen]“, da diese „nicht zu dem gewünschten Ergebnis [führen]“ (LANGE 2015).

### Zusätzliche Berücksichtigung biotischer, abiotischer und sozialer Systemdimensionen

Die Analogie zum Maschinenbau ist dennoch kritisch zu betrachten, da das System *SuL* eben nicht auf die technische Systemdimension reduziert werden kann. In Abschnitt 3 wird festgestellt, dass das System *SuL* zusätzlich abiotische, biotische und soziale Systemdimensionen besitzt und sich daher einem alleinigen mechanistischen Weltverständnis entzieht. Es ist davon auszugehen, dass die hohe Komplexität von Systemen, beispielsweise von *SuL*, eine Erfassung und Berücksichtigung aller Entitäten und deren Wechselwirkungen, analog des Studiums von Stromlauf- und Montageplänen in dem zuvor genannten Beispiel, mit den derzeit zur Verfügung stehenden Mitteln und Rechnerkapazitäten unmöglich macht (vgl. MAINZER 2008).

Ebenso scheint eine Optimierung durch die Reduktion der Bemühungen auf das Vermeiden oder Verstärken von Erfolgs- oder Misserfolgskriterien nicht auszureichen. Vielmehr muss ein Verständnis über das Gesamtsystem geschaffen werden. Es ist jedoch fraglich, wie tiefgreifend dieses Verständnis bei komplexen sozialen Systemen sein kann. RITTEL (2013) beschäftigt sich mit der Planung sozioökonomischer Systeme und bezeichnet Probleme in diesem Zusammenhang als böse Probleme (wicked problems).

## Konzept der bösartigen Probleme nach Rittel

RITTEL (2013) arbeitet vielfältige Besonderheiten heraus, mit denen sich die Planenden im Umfeld sozioökonomischer Probleme konfrontiert sehen. Eine hervorgehobene Stellung seiner Thesen nimmt für die vorliegenden Ausführungen der Ansatz der bösartigen Probleme ein. Die Tabelle 4 würdigt die für die vorliegende Fragestellung relevanten Aussagen Rittels zu sozioökonomischen Systemen.

*Tabelle 4: Für die Ausführungen wesentliche Argumente nach (RITTEL 2013), ergänzt um den Aspekt A.*

Aspekt	Kurzbeschreibung	Erläuterung / Zitate nach RITTEL (2013)
<b>A</b>	Die Systemgrenzen benötigen eine Ausweitung.	Die Grenzen der Systeme müssen ausgeweitet werden, um die Wechselwirkungen ausreichend berücksichtigen zu können (vgl. Abschnitt 3.8.2).
<b>B</b>	Sozioökonomische Probleme sind bösartig	Gesellschaftliche „Planungssysteme sind inhärent bösartig“ da sie sich schlecht definieren lassen und nicht gelöst werden können.
<b>C</b>	Die Problemdefinition ist das Problem.	Das größte Problem im Umgang mit sozioökonomischen Problemen ist die Definition des Problems als der Differenz zwischen dem Soll- und dem Istzustand, denn „[d]ie Informationen, die nötig sind, um das Problem zu <i>verstehen</i> , hängt von der jeweiligen Vorstellung ab, wie es zu <i>lösen</i> sei.“ Damit ist „die Formulierung eines bösartigen Problems [...] das Problem!“
<b>D</b>	Es gibt keine optimale Lösung.	Verschiedene Akteur:innen beurteilen die Güte der gefundenen Lösung eines bösartigen Problems unterschiedlich aufgrund verschiedener Zielvorstellungen. Daher ist es nicht möglich, die universal „richtige“ Lösung

Aspekt	Kurzbeschreibung	Erläuterung / Zitate nach RITTEL (2013)
		eines bösartigen Problems zu finden. Diese können lediglich als „besser oder schlechter“ beurteilt werden.
<b>E</b>	Der Erfolg kann nicht genau bestimmt werden.	Rittel verweist auf die vielfältigen Konsequenzen der Lösungen und deren Wechselwirkungen für eine Vielzahl von Akteur:innen, welche wiederum mit zeitlichem Verzug wirksam werden können. Dies erschwert die Bestimmung des Erfolgs.
<b>F</b>	Die Lösungen bösartiger Probleme sind irreversibel	Für das Verändern eines sozioökonomischen Systems haben die Akteur:innen nur einen Versuch als eine „one-shot-operation“. Eine Straße kann zwar wieder zurückgebaut werden –deren tatsächlichen Auswirkungen sind jedoch irreversibel.
<b>G</b>	Die Anzahl möglicher Lösungen kann nicht bestimmt werden.	Bösartige Probleme können viele oder gar keine Lösungen haben. Die Planenden können jedoch nicht wissen, ob sie tatsächlich alle Lösungsmöglichkeiten in ihren Abwägungen berücksichtigt haben.
<b>H</b>	Bösartige Probleme sind einzigartig.	Da sich verschiedene bösartige Probleme in ihren Eigenschaften signifikant unterscheiden können, führen einheitliche Vorgehensmodelle nicht zwingend zu guten Lösungen.
<b>I</b>	Probleme sind sowohl Ursache als auch Wirkung.	Lösungen oder gewählte Mittel zu einem Ziel werfen wiederum neue Probleme auf. Damit wird die Lösung eines Problems zur Ursache eines neuen Problems.
<b>J</b>	Bösartige Probleme entziehen	Die Lösung eines bösartigen Problems ist auch davon bestimmt, wie das Problem entziehen

Aspekt	Kurzbeschreibung	Erläuterung / Zitate nach RITTEL (2013)
	sich einer wissenschaftlichen Beweisführung.	klärt wird, wobei die möglichen Beweisführungen außerhalb derer sind, welche „im wissenschaftlichen Diskurs zulässig sind.“ Böartige Problemen lassen sich beispielsweise nicht experimentell lösen, da sie zu komplex sind.
<b>K</b>	Planer:innen haben eine immense Verantwortung.	Wenn böartige Probleme einzigartig sind und deren Lösung als <i>one-shot-operation</i> betrachtet werden, welche irreversibel in das System und damit in die Lebenswirklichkeit Vieler und Vielem eingreifen, dann bedeutet dies eine immense Verantwortung der Planenden bei der Abwägung und Entscheidung.
<b>L</b>	Rationales Vorgehen endet in Spontanurteilen.	Systematische, rationale Planung erfordert eine Untersuchung der Konsequenzen möglicher Varianten und dann wiederum der Untersuchung der Konsequenzen dieser Konsequenzen. Diese Überlegungen müssen fortgesetzt werden, sofern sie nicht in Spontanurteilen enden.

Die in Tabelle 4 genannten Aspekten von RITTEL (2013) wurden um den Aspekt A ergänzt, welcher den Perspektivwechsel durch das Transzendieren der Systemgrenzen beinhaltet und welcher für das Verständnis der Ausführungen dieses Abschnittes als wesentlich erachtet wurde.

## 4.4 Der Erfolgsbegriff im Kontext der Transformation des Systems Straße und Landschaft

In der Fragestellung wird auf mögliche Kriterien und damit auf die Parameter für die Definition des Erfolgs von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur abgestellt. Anhand dieser soll es möglich sein, zwischen Erfolg und Scheitern der Transformation von *SuL* unterscheiden zu können. Die German Project Management Association (GPM) beschreibt im Zusammenhang mit Projekten den „Erfolg [als] ein Resultat von Handlungen“ (GESSLER 2014). Im Duden wird Erfolg allgemein als das „positive [...] Ergebnis einer Bemühung [oder] Eintreten einer beabsichtigten, erstrebten Wirkung [bezeichnet]“ (Duden online, zuletzt abgerufen am 16.10.2021). Während der Erfolg das Ergebnis einer Handlung bedarf, kennzeichnet der Duden ein Ziel als „etwas, worauf jemandes Handeln, Tun o. ä. ganz bewusst gerichtet ist, was jemand als Sinn und Zweck, angestrebtes Ergebnis seines Handelns, Tuns zu erreichen sucht“ (Duden online, zuletzt abgerufen am 16.10.2021).

Erfolg tritt demnach ein, wenn eine Handlung die beabsichtigte Wirkung zeigt. Da die Handlung auf einen Zweck ausgerichtet ist, geschieht sie planvoll, denn durch Planen werden Handlungen gedanklich vorweggenommen (vgl. WÖHE et al. 2020).

Bereits Aristoteles beschreibt in seinem Konzept der Tugendethik, dass das Wissen vom Ziel, von den Mitteln des Handelns und von den Umständen die Voraussetzungen für ein teleologisches, also zielgerichtetes Handeln bildet (vgl. ARISTOTELES 2017). Übertragen auf den Planungsprozess sollten die Akteur:innen des *P-Systems* ein Wissen von den Zielen, den Handlungsmöglichkeiten sowie den Umständen besitzen (vgl. Abbildung 14). Der Duden definiert „handeln“ als „aufgrund eines Entschlusses tätig werden, bewusst etwas tun“ (Duden online, zuletzt abgerufen am 16.10.2021).



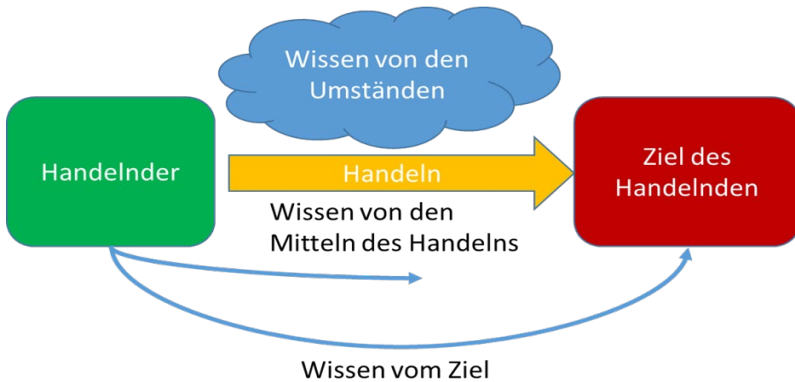


Abbildung 14: Modell des teleologischen Handelns nach Aristoteles (eigene Darstellung).

**Planen als zukünftiges Handeln** setzt planerische Freiheit innerhalb des Planungsprozesses voraus, denn sonst wäre das Ergebnis der Planung vorbestimmt. Folglich existieren alternative Handlungsoptionen, unter denen die Akteur:innen auswählen müssen. „Eine Entscheidungssituation liegt vor, wenn unter bestimmten Umweltzuständen (Daten) aus mehreren Handlungsalternativen diejenige Alternative zu wählen ist, die am besten zur Zielerfüllung beiträgt“ (GÖBEL 2018).

Die präskriptive Entscheidungstheorie beschreibt Möglichkeiten einer rationalen Entscheidungsfindung zwischen Alternativen und bietet damit den Planenden Hilfestellung, welche in diesem Prozess fortwährend Entscheidungen zwischen verschiedenen Alternativen zu treffen haben (vgl. GÖBEL 2018).

So unterscheiden LAUX et al. (2014) in ihrem Entscheidungsmodell zwischen Entscheidungsfeld und Entscheidungsregel. Das **Entscheidungsfeld** besteht aus den Umweltzuständen, den Handlungsalternativen und den Ergebnissen und besitzt Ähnlichkeiten zu dem Konzept von Aristoteles. Allerdings wird das Modell durch die **Entschei-**

**dungsregel** ergänzt, welche „fest[legt], wie im Rahmen eines Entscheidungsmodells aus einer Alternativenmenge ausgewählt wird, um dieses Ziel zu erreichen“ (LAUX et al. 2014). Ebenso werden die **Umweltzustände** präzisiert und in die in Tabelle 5 gezeigten **Erwartungsstrukturen** untergliedert. Diese Erwartungsstrukturen repräsentieren das *Wissen über die Umstände* aus Abbildung 14 (vgl. GÖBEL 2018).

*Tabelle 5: Wissen über die Umweltzustände nach (LAUX et al. 2014, GÖBEL 2018).*

Sicherheit des Wissens über die Umweltzustände	Erläuterung
Sicherheit (sicheres Wissen)	Die Ausprägung relevanter Entscheidungskriterien ist bekannt.
Unsicherheit im engeren Sinne (kein Wissen)	Die Ausprägung relevanter Entscheidungskriterien ist nicht bekannt.
Risiko (ungefährtes Wissen)	Die Entscheider:innen können ein Wahrscheinlichkeitsurteil über die Ausprägung relevanter Entscheidungskriterien bilden. Der Risikobegriff weicht damit von jenem des Projektmanagement (GESSLER 2014) oder der ökologischen Risikoanalyse (FÜRST & SCHOLLES 2008) ab.

Erfolg als erwünschte Wirkung einer Handlung, kann sich auf das Ergebnis der Handlung, also auf das Objekt des Handelns beziehen, aber auch auf den Weg bis zur Erreichung des Ergebnisses und damit auf die Handlung selbst. Projekte werden beispielsweise als erfolgreich bezeichnet, wenn sie ihre finanziellen, terminlichen sowie qualitativen Zielvorgaben erfüllen (vgl. GESSLER 2014). Diese Ziele sind

nicht zwingend dem Objekt der Handlung zuzuordnen, sondern können auch auf die Handlung selbst bezogen sein. Folglich lässt sich der Projekterfolg in **Abwicklungs- und Anwendungserfolg** unterscheiden, wobei ersterer auf den Erfolg der Projektdurchführung, letzterer auf die erfolgreiche Anwendung des Projektergebnisses (des Projektobjektes) in der Nutzung abzielt (vgl. FREITAG 2016, GESSLER 2014).

Aus der Akzeptanz des Perspektivenwechsel hin zum **Planungsgegenstand SuL** resultiert auch begrifflich die Notwendigkeit einer auf die Forschungsfrage angepassten Definition des Erfolgsbegriffs, da die Projektebene zugunsten einer übergeordneten *SuL*-Ebene verlassen wird. HABERFELLNER (2012) verweist auf die Möglichkeit einer Betrachtung des Unter- sowie Übersystems bei hierarchischen Systemen. Im Rahmen der Untersuchung des Erfolgsbegriffs sollen daher auch die über- und untergeordneten Ebenen aufgezeigt werden. Tabelle 6 zeigt einen Vorschlag für eine über die Systemebenen differenzierte Betrachtung des Erfolges. Dabei steht die Identifikation der Parameter für das Messen des Transformationserfolgs sowie des Systemerfolgs des Systems *SuL* im Rahmen dieser Ausführungen im Vordergrund.

Tabelle 6: Vorschlag für eine Erfolgsdefinitionen verschiedener Systemebenen.

Systemebene	Erfolg
Gesellschaftssystem	Erreichen gesellschaftlicher Oberziele
Verkehrssystem	Erreichen der Ziele des Bundesverkehrswegeplans (vgl. BMVI 2016)
System zentraler Orte und deren Verbindung	Herstellen der Verbindungs-, Versorgungs- und Austauschfunktionen nach Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN)
System Straße und Landschaft (SuL)	Erreichen von Systemzielen (Systemerfolg)
System der Prozesse (P-System) als mit dem SuL-System strukturell gekoppeltes System (Prozessaspekt des SuL-Systems)	Fertigstellung der Verbindung mit den Zwischenschritten u.a. Planfeststellung, Linienbestimmung sowie umweltbezogene Schritte als Systemtransaktionsziele (Transformationserfolg)
Landschaft	Landschaftsfunktionen, Raumfunktionen
Straßenbauwerk als technisches System	Erreichen von Projektzielen

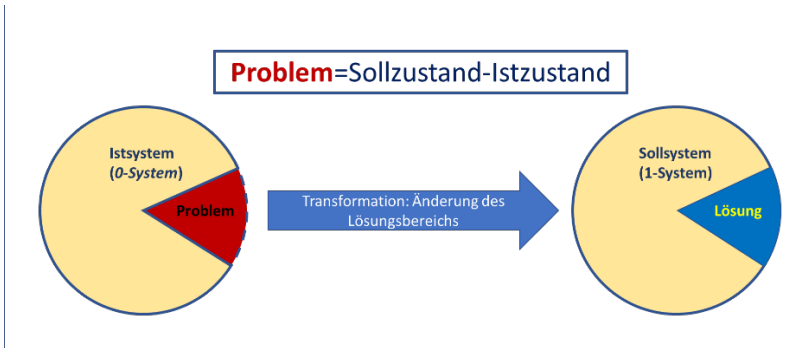
Es zeigt sich, dass Ziele, Akteur:innen, das Wissen über die Umstände und die Handlungsmöglichkeiten in einem engen Zusammenhang stehen. Dieser Zusammenhang soll in den folgenden Abschnitten vertieft und in einen Kontext mit dem Erfolg der Transformation von *SuL* gestellt werden. Der Abschnitt 4.5 widmet sich den Zielen der an der Transformation beteiligten handelnden Personen.

#### 4.5 Das Wissen von den Zielen und den Mitteln des Handelns bei der Transformation des Systems Straße und Landschaft

**Probleme** können als die Abweichung des Istzustandes vom Sollzustand verstanden werden (vgl. HABERFELLNER 2012). Es besteht der **Bedarf** dieses Problem zu lösen. Demnach ist es das übergeordnete Ziel, den Sollzustand herzustellen. Dies setzt wiederum Kenntnisse über den gewünschten Zustand des Betrachtungsgegenstands voraus. Es ist als wahrscheinlich anzusehen, dass verschiedene Akteur:innen eine voneinander abweichende Vorstellung von den Soll- und Istzustände haben oder aus den gleichen Zuständen ein unterschiedliches Problemverständnis desselben Gegenstands entwickeln. Diese Argumentation folgt auch der These, dass die Formulierung des Problems das Problem darstelle (vgl. RITTEL 2013).

Komplexität kann aus individueller Akteur:innensicht reduziert werden, indem aus der möglichen Menge von Problemdefinitionen eine ausgewählt wird und aus dieser reduktionistischen Betrachtung konkrete Ziele abgeleitet werden. Folglich wird dieses unterschiedliche Problemverständnis in der Gesamtschau der Akteur:innen zu einer Diversifizierung der Ziele und der Mittel des Handelns führen. Ein Problem ist demnach der Ausdruck eines **Bedarfes** aus der Sicht eine:r Beobachter:in. Ein Teil der Akteur:innen erkennt beispielsweise einen Bedarf für den Bau einer Straße. Andere Akteur:innen kommen

zu anderen Schlussfolgerungen. Dieser Bedarf wird im folgenden Absatz durch den Bedarfsplan nach dem Gesetz über den Ausbau der Bundesfernstraßen (FStrAbG) legitimiert. Dies erfordert Handlungen. Durch Handeln soll der Istzustand (0-System) zum Sollzustand (1-System) transformiert werden (vgl. *Abbildung 15*).



*Abbildung 15: Problem als Differenz von Soll- und Istzustand (eigene Darstellung).*

Bei Infrastrukturprojekten wird der Bedarf durch den im FStrAbG enthaltenen Bedarfsplan festgestellt (vgl. BRACHER & BÖSL 2017). Aus der vorgenannten Argumentation lässt sich jedoch ableiten, dass die Bedarfe bei gleich wahrgenommener Differenz zwischen Soll- und Istzustand unterschiedliche Ausprägungen annehmen können (Tabelle 7).

Tabelle 7: Fiktives Beispiel einer von Akteur:innen abhängigen Problemdefinition und Mittelauswahl.

Akteur:in		
	A	B
<b>Sollzustand</b>	Ortschaft mit geringem innerörtlichem Verkehrsaufkommen	
<b>Istzustand</b>	Starker Verkehr in der Ortslage	
<b>Problemdefinition</b>	Fehlende Umgehungsstraße	zügiger Verkehrsfluss in der Ortsdurchfahrt aufgrund ihrer baulichen Gestaltung
<b>Mittel des Handelns</b>	Planung und Bau einer Umgehungsstraße	Implementierung von Durchfahrtshindernissen
<b>Ziel</b>	Umfahrung des Ortes	Erschweren der Attraktivität der Durchfahrt des Ortes, dadurch Verlagerung eines Teils des Verkehrs auf andere Strecken

Damit wird deutlich, dass verschiedene Akteur:innen bei denselben Bedingungen unterschiedliche Problemformulierungen entwickeln und daraus abweichende Ziele herleiten können. Folglich erscheint es wichtig, im folgenden Abschnitt zunächst die Zielfindung vor dem Hintergrund theoretischer Betrachtungen näher zu beleuchten.

## Zieltheoretische Betrachtungen

In Abschnitt 4.4 wurde dargelegt, dass der Erfolg eintritt, wenn Handlungen die beabsichtigten Wirkungen zeigen, und dass Ziele ausdrücken, was mit diesen Handlungen erreicht werden soll. Demnach stellen Ziele den Soll- und Erfolg den Istzustand und demnach die Zielerreichung nach dem Durchführen von Handlungen dar.

Im Projektmanagement werden insbesondere **Zeit**, **Kosten** und **Qualität**, häufig ergänzt um die **Stakeholder-Zufriedenheit**, als wesentliche, den Erfolg bestimmende Faktoren genannt (vgl. GESSLER 2014, BORGERT 2012, JAKOBY 2019, MEYER & REHER 2015, MÖLLER & DÖRRENBURG 2003). Diese können als Dreieck grafisch dargestellt werden (Abbildung 16).

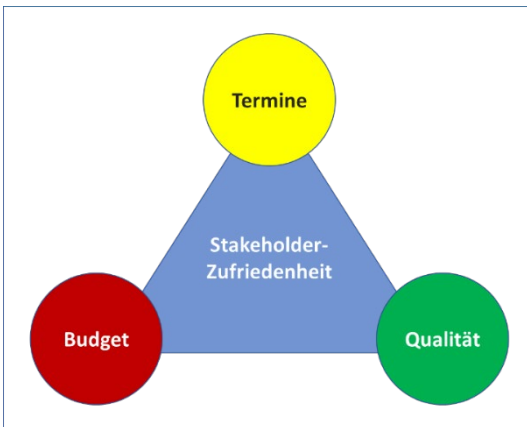


Abbildung 16: Zieldreieck im Projektmanagement (eigene Darstellung).

Der Zielbegriff wird hier im Zusammenhang mit Großprojekten der Infrastruktur betrachtet. In der DIN 69901-5:2009-01 werden Projektziele

definiert als „Gesamtheit von Einzelzielen, die durch das Projekt erreicht werden“. „Die Anordnung aller für eine Planung oder Entscheidung relevanter Ziele“ bezeichnet man als **Zielsystem** (HABERFELLNER 2012). Ein Zielsystem, an welchem sich Planer:innen orientieren, muss an einem konkreten Sinn orientiert sein, da *P-Systeme* überwiegend als soziale Systeme betrachtet werden (vgl. Ab-



schnitt 3.4). Daher sollen Bedingungen für ein Zielsystem zur Transformation von *SuL*-Systemen herausgearbeitet werden, welche den Sinn des Vorhabens für die Akteur:innen im *P*-System beschreiben.

Der Perspektivenwechsel bewirkt eine **Steigerung der Komplexität** des Zielsystems (vgl. Abschnitt 3.8.2). Man kann diesem Umstand durch Reduktion der Komplexität des Zielsystems begegnen, indem man **Muss-** von **Kannzielen** (Wunschziele) unterscheidet. „*Mussziele* sind solche, deren Erreichung zwingend vorgeschrieben wird, *Wunschziele* sind jene, deren möglichst gute Erreichung angestrebt werden soll, aber nicht zwingend ist (*nice to have*)“ (HABERFELLNER 2012). Zwischen diesen beiden Polen liegen die **Sollziele**, deren Erfüllung eine hohe Bedeutung zukommt, obschon deren Erreichen formal nicht zwingend ist.

Ein weiterer Weg für den Umgang mit komplexen Zielsystemen bietet die Betrachtung eines Systems aus verschiedenen Blickwinkeln, den Systemaspekten (vgl. MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020, HABERFELLNER 2012, MAIER 2009). Hierfür sind u.a. die Systemaspekte **Prozess** und **Effizienz** geeignet, indem man einerseits die **Ziele der Schaffung des Systems** und andererseits die **Ziele des Systems** selbst betrachtet. Auf der Ebene von Projekten wird dies als Projektablaufziele (oder Vorgehensziele) benannt, im Kontext von *SuL* als Systemziele (oder Ergebnisziele) (vgl. GESSLER 2014, JAKOBY 2019, LANGE 2015, MEYER & REHER 2015).

Wenn in Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur die Systemgrenzen transzendiert werden müssen um der Komplexität zu begegnen, dann können nicht nur die Projektziele des Vorhabenträgers mit der Zufriedenheit der Stakeholder betrachtet werden. Denn durch die Systemerweiterung charakterisiert man nicht das Projekt **in einem** System, sondern das System in der Transformation **durch** ein Projekt. Der Unterschied besteht in der Betrachtung des Gegenstands: Geht es um das Projekt oder das System? Es handelt sich in der vorliegenden Betrachtung folglich nicht um ein Infrastrukturprojekt, sondern um einen

Systemumbau **durch** ein Infrastrukturprojekt. Übertragen auf das System *SuL* und mit dem Ziel der klaren Unterscheidung zu den Begrifflichkeiten des Projektmanagements, werden hierzu in den weiteren Ausführungen die Begriffe **Systemziele** (analog Ergebnisziele) und **Transformationsziele** (analog Ablaufziele) verwendet. Abbildung 17 zeigt den Zusammenhang zwischen den Systemzielen, den Transformationszielen und dem daraus resultierenden **Systemtransformationserfolg** im *SuL*-System.

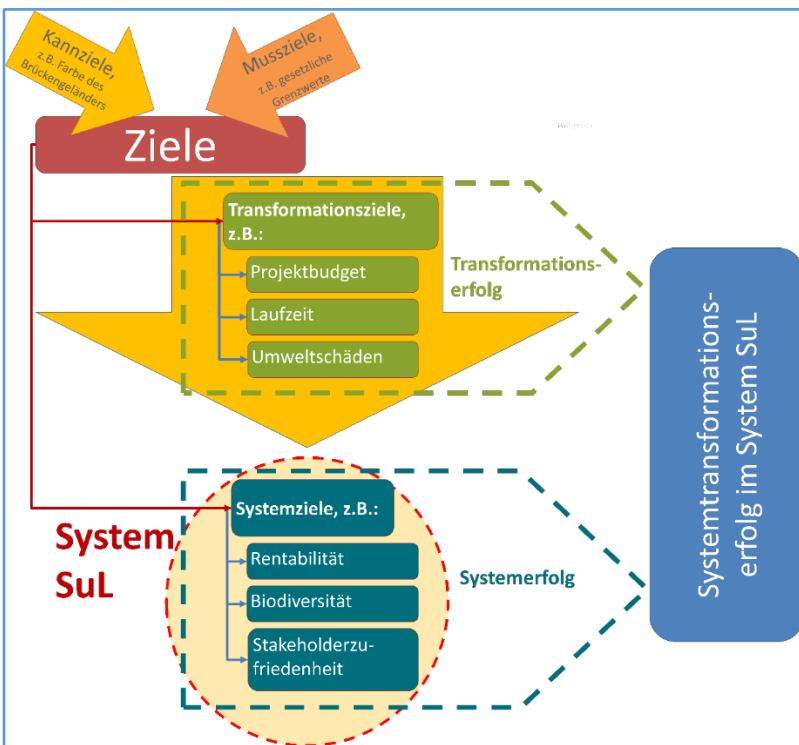


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Zielen und Erfolg des Systems *SuL* (eigene Darstellung).

Eine weitere Möglichkeit des Umgangs mit der Komplexität des Zielsystems bietet die **Hierarchisierung** der Ziele. Dabei werden Ziele in Unterziele gegliedert, die ihrerseits wiederum in weitere Unterziele aufgeteilt werden können. Es ergibt sich daraus ein hierarchisches Zielsystem. Dabei ist anzumerken, dass zwischen über- und untergeordneten Zielen die jeweiligen Unterziele i.d.R. **Mittel zum Zweck** des übergeordneten Ziels sind (vgl. FÜRST & SCHOLLES 2008, HABERFELLNER 2012). Umgekehrt können Unterziele ihren übergeordneten Zielen (Oberzielen) zugeordnet werden. Man spricht von einem eindimensionalen Zielsystem, wenn sich alle Teilziele einem gemeinsamen Oberziel zuordnen lassen. Existieren zwei oder mehr Oberziele, dann spricht man von einem **mehrdimensionalen Zielsystem**. Letzteres ist aufgrund der Komplexität der Planungspraxis häufiger anzutreffen (vgl. FÜRST & SCHOLLES 2008). Der Systemaspekt „Zweck“ wird beispielsweise bei Verkehrsinfrastrukturprojekten mit der Frage danach beantwortet, welche Absicht der Vorhabenträger mit dem System verfolgt (vgl. Abschnitt 3.5). Demnach kann der Zweckaspekt des Systems als das oberste Systemziel angesehen werden.

Die einzelnen Ziele können dabei auch die Systemebenen (vgl. Tabelle 6) überschreiten. Ebenso können sie einen unterschiedlichen Grad der **Operationalisierung** besitzen. HABERFELLNER (2012) versteht unter einem operationalen Ziel eine Zielformulierung, welche „*verständlich* und ihre *Erreichung feststellbar* ist“ (HABERFELLNER 2012). FÜRST & SCHOLLES (2008) schlagen hinsichtlich des Grades der Operationalisierung eine Unterteilung in Leitbild, Leitlinie, Qualitätsziel, Handlungsziel und Standard vor (Tabelle 8).

Tabelle 8: Grad der Operationalisierung (FÜRST & SCHOLLES 2008, KÜHNER 1995).

Bezeichnung	Beschreibung	Operationalisierung
<b>Leitbild</b>	„basieren auf gesellschaftlichen Oberzielen und spiegeln die Ausprägung und	abstrakt, nicht operationalisiert

Bezeichnung	Beschreibung	Operationalisierung
	Gewichtung der Oberziele in einem bestimmten Zeitraum wider“ (FÜRST & SCHOLLES 2008)	<i>Beispiel: Leitbilder der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO)</i>
<b>Leitlinie</b>	„häufig in Gesetzen [...] als Grundsätze“ enthalten (FÜRST & SCHOLLES 2008)	erste Konkretisierungsstufe eines Zielsystems, Messbarkeit ist schwierig <i>Beispiel: § 2 Raumordnungsgesetz (ROG), Grundsätze der Raumordnung</i>
<b>Qualitätsziel</b>	Definition der Qualität eines Gutes, <i>Blick auf einen Gegenstand</i>	erfordert häufig eine weitere Operationalisierung durch z.B. Standards <i>Beispiel: Erreichen der natürlichen Wassergüte</i>
<b>Handlungsziel</b>	Mittel zur Erreichung von Qualitätszielen, bezogen auf eine Handlung zur Zielerreichung	messbare Ziele <i>Beispiel: Entwicklung von Programmen zur Klimawandelanpassung (vgl. BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG April 2017)</i>
<b>Standard</b>	Ziele, welche einen Einzug in Verordnungen, Normen, Vorschriften etc. gefunden haben	messbare Ziele <i>Beispiel: Druckfestigkeitsklasse C20/25 nach DIN EN 206-1</i>

Neben der Mittel-Zweck-Beziehung zwischen Zielen benachbarter Ebenen, werden noch die Beziehungen zwischen Zielen auf der gleichen Ebene unterschieden, welche das **Maß der Verträglichkeit der Ziele** untereinander beschreiben (vgl. HABERFELLNER 2012, FÜRST & SCHOLLES 2008, GESSLER 2014). Tabelle 9 zeigt die verschiedenen Ausprägungen der Zielverträglichkeit (vgl. GESSLER 2014).

*Tabelle 9: Maß der Zielverträglichkeit.*

Zielverträglichkeit	Beschreibung
<b>Zielidentität</b>	Die Ziele sind deckungsgleich.
<b>Zielkomplementarität</b>	Die Verfolgung des einen Zieles fördert gleichzeitig das Erreichen des anderen Zieles.
<b>Zielneutralität</b>	Die Ziele sind voneinander unabhängig.
<b>Zielkonkurrenz</b>	Die Ziele stehen in Konkurrenz zueinander.
<b>Zielantinomie</b>	Die Ziele schließen sich aus.

Bei der Bestimmung der Zielverträglichkeit werden Ziele paarweise miteinander verglichen. Eine Hilfestellung für das Verständnis kann die Darstellung der Ziele als Vektoren bieten. Unter Vektoren werden Größen verstanden, „die durch Angabe von Maßzahl und Richtung vollständig beschrieben sind“ (PAPULA 2018). Abbildung 18 ordnet die in Tabelle 9 genannten Begriffen des paarweisen Vergleichs der Zielverträglichkeit einer zweidimensionalen vektoriellen Darstellung zu.

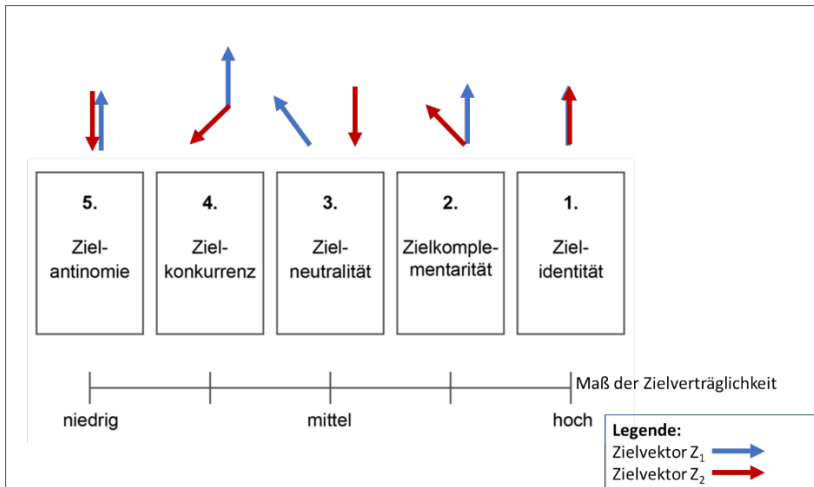


Abbildung 18: Zielbeziehungen als Maß der Zielverträglichkeit. Die Zielneutralität wird als Ausnahme nicht als Vektor betrachtet (eigene Darstellung, erweitert nach GESSLER (2014)).

Bei komplexen mehrdimensionalen Zielsystemen kann man davon ausgehen, dass das Erreichen aller Ziele nur in Ausnahmefällen möglich ist. Eine Definition des Erfolgs, welche auf die Erfüllung aller Zielvorgaben abzielt, kann daher nicht sinnvoll sein. Dies kann verdeutlicht werden an den drei Zielgrößen Qualität, Kosten und Termine. Jede Begrenzung infolge einer anspruchsvolleren Zielformulierung verringert die Menge zulässiger Lösungen (Abbildung 19).

Tatsächlich können diese Ziele jedoch noch weiter unterteilt werden:

- **Kostenziele:** Baukosten, Kosten der Unterhaltung, Total Cost of Ownership (TCO), etc.
- **Qualitätsziele:** Verkehrsstärke, Kurvigkeit, Biotopgröße, Lärmemission, Betongüte, etc.
- **Terminziele:** Verkehrsfreigabezeitpunkt, Bauzeit, Planungs-dauer, etc.

Durch eine feingranulare Gliederung komplexer Zielsysteme kann man davon ausgehen, dass die Zahl zulässiger Lösungen deutlich verringert wird oder gar keine zulässigen Lösungen existieren.

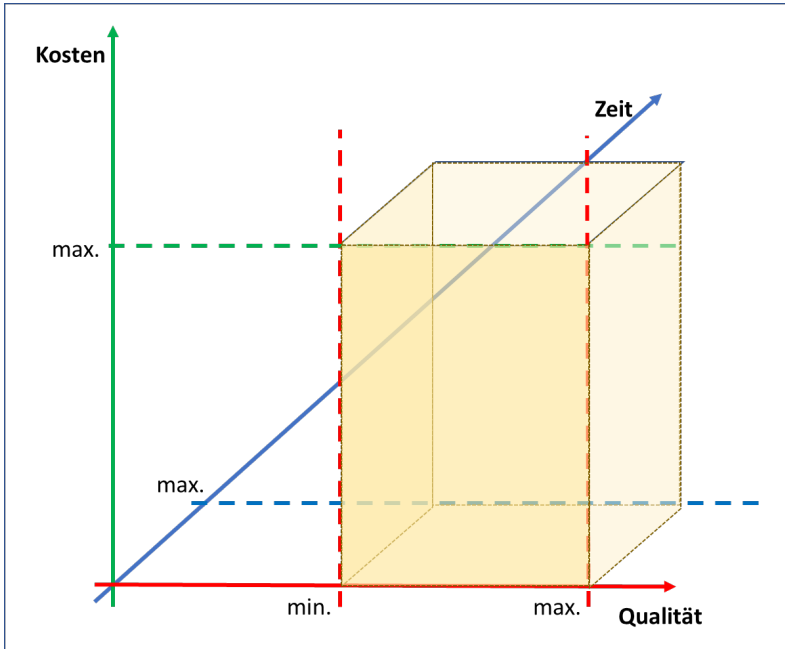


Abbildung 19: Verringerung der Menge zulässiger Lösungen durch Zielformulierungen (eigene Darstellung).

## Ziele im System Straße und Landschaft

Nach der theoretischen Betrachtung soll nachstehend auf **konkrete Ziele im System SuL** eingegangen werden, um diese in Bezug auf die theoretischen Grundlagen dieses Kapitels einzuordnen. Es wer-

den insbesondere diejenigen Ziele betrachtet, welche im Zusammenhang mit der Planung und Umsetzung von Infrastrukturgroßprojekten stehen.

## Die Sustainable Development Goals (SDG) der Vereinten Nationen

Die SDG der UN (Abbildung 20) sind Leitlinien für die deutsche Politik, u.a. umgesetzt durch die Nachhaltigkeitsstrategie (vgl. DIE BUNDESREGIERUNG 2016). Deren rechtlicher Status ist nicht unumstritten: "the legal status of sustainable development remains the subject of debate. Indeed there is little evidence to support a claim that there exists a legal obligation for states to develop sustainably" (DIKIGOROPOULOU 2016). MICHALKE et al. (2018) erkennen, dass die SDG's zunächst „rechtlich [nicht] bindend“ sind (MICHALKE et al. 2018), verweisen jedoch auf die „erhebliche politische Wirkung“, die von ihnen ausgehe.

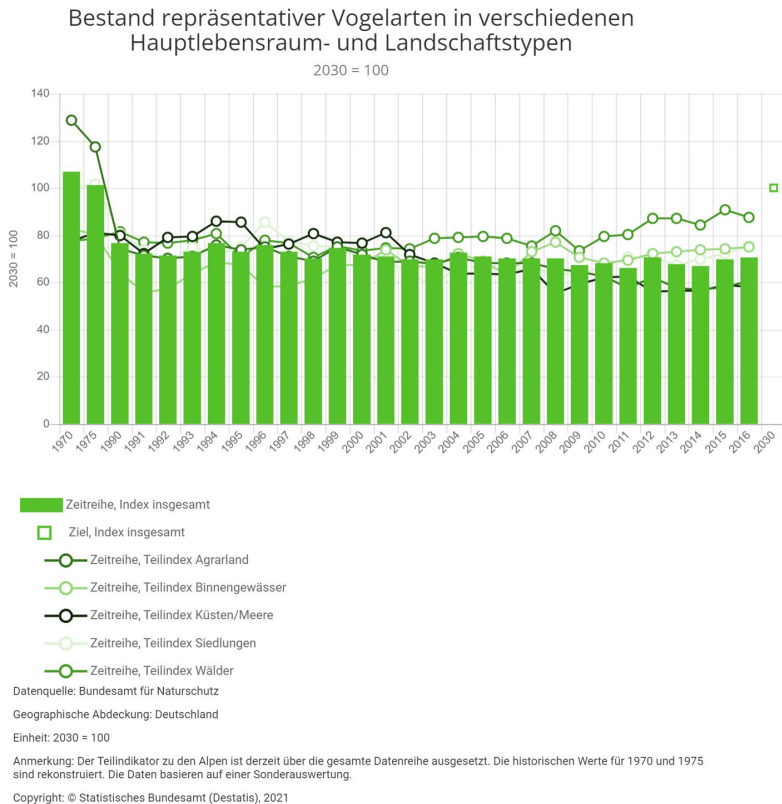
Dies findet auch darin seinen Ausdruck, dass nach § 44 Abs. 1 der Gemeinsamen Geschäftsordnung der Bundesministerien (GGO) dargelegt werden muss, „ob die Wirkungen des Vorhabens einer nachhaltigen Entwicklung entsprechen“.





Abbildung 20: Die 17 globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung der Agenda (WEBSEITE DER BUNDESREGIERUNG 07.04.2022).

Durch die nationalen Indikatoren werden die Ziele bereits operationalisiert (vgl. REYERS et al. 2017). Abbildung 21 zeigt den nationalen Indikator für Artenvielfalt und Landschaftsqualität in einer Zeitreihe auf und legt damit einen terminierten Zielwert fest. HERLYN & LÉVY-TÖDTER (2019) verweisen auf Wirkbeziehungen, die zwischen einzelnen Zielen der SDGs bestehen, aus welchen „sich sowohl Synergien als auch Zielkonflikte [ergeben]“ (HERLYN & LÉVY-TÖDTER 2019). Da diese globalen Ziele in verschiedene Rahmensetzungen des Bundes einfließen sollen, kann abgeleitet werden, dass sie indirekt auch Vorgaben für einzelne Verkehrsinfrastrukturprojekte beinhalten. Fraglich ist jedoch, inwiefern dies in die Erfolgsdefinition der Transformation einfließen kann.



**Abbildung 21: Indikator 15.1: Artenvielfalt und Landschaftsqualität (STATISTISCHES BUNDESAMT 09.03.2022).**

Systemziele aus der Sicht der Vorhabenträger des Infrastrukturprojektes

Der Projekterfolg steht in einem Zusammenhang mit der Erfüllung von Zielvorgaben (vgl. Abschnitt 4.4). Projektziele stehen zunächst in einem Willenszusammenhang mit dem Vorhabenträger.

Eine Konkretisierung von Zielen **aus Sicht der Vorhabenträger** findet sich u.a. im BVWP 2030, in den Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA) sowie in der Literatur. So wird im BVWP 2030 „zwischen den **übergeordneten Zielen** der Verkehrspolitik, die sich aus verkehrs- und umweltpolitischen Programmen ergeben, und den daraus entwickelten **abgeleiteten Zielen bzw. Lösungsstrategien** unterschieden“ (BMVI 2016). Über den übergeordneten Zielen stehen die gesellschaftlichen Oberziele „Freiheit“, „Sicherheit“, „Gerechtigkeit“, „Wohlstand“ und „Umweltschutz“ (vgl. SCHWEDES et al. 2016, SCHWEDES 2018). Durch Zuordnung der gesellschaftlichen Oberzielen zu den Zielen im BVWP erhält man die in Abbildung 22 konzipierte Systematik der Ziele. Viele Ziele im BVWP 2030 sind nicht quantifiziert (vgl. SCHWEDES 2018). Diese machen das Messen und Bewerten der Zielerfüllung und damit des Erfolgs schwierig.

Ergänzend konkretisieren die RAA die Aspekte Verkehrssicherheit, Qualität des Verkehrsablaufes, Raumordnung, Städtebau, Natur, Umwelt und Kosten. In der RAA finden sich neben qualifizierbaren auch teilweise quantifizierbare Parameter, aufgrund derer die Zielerfüllung gemessen werden kann.

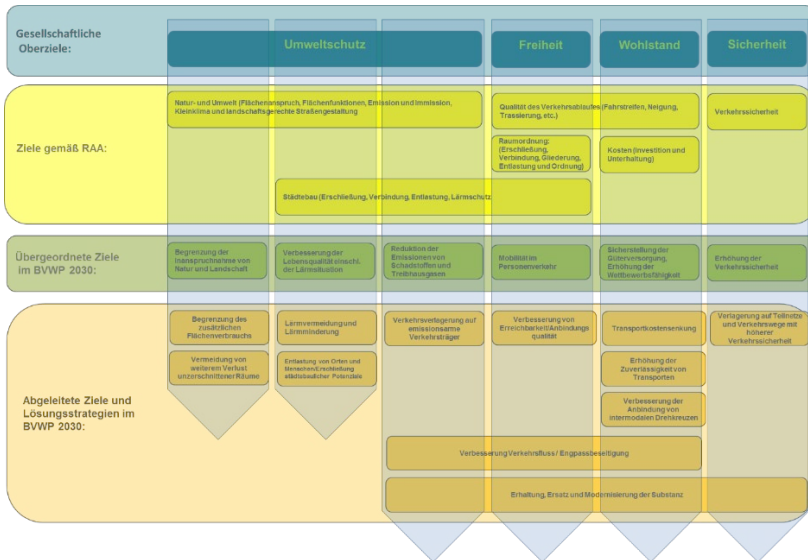


Abbildung 22: Systematik von Zielen bei der Verkehrsinfrastruktur aus Sicht der Vorhabenträger (eigene Darstellung nach (SCHWEDES 2018)).

Darin zeigt sich, dass Ziele des Umweltschutzes neben verkehrlichen Zielen einen nennenswerten Stellenwert einnehmen. BRACHER & BÖSL (2017) argumentieren in Richtung Nachhaltigkeit: „In Zukunft wird die Straßennetzgestaltung sich nicht nur auf den sicheren und bedarfsge- rechten Verkehrsablauf ausrichten, sondern mehr als bisher an der Schonung der Lebensgrundlagen und der Begrenztheit der Ressourcen“ (BRACHER & BÖSL 2017). Eine solche „nachhaltige Mobilität wird definiert als „die ökologisch verträgliche und sozial auch gegenüber kommenden Generationen gerechte Gestaltung und Gewährleistung der Erreichbarkeit von Einrichtungen und Kommunikationszugängen in einer globalen Gesellschaft“ (RAMMLER 2015). Dieser Autor warnt ferner davor, sich überwiegend auf die Optimierung der Prozesse oder technischer Systeme im Rahmen einer Effizienzstrategie zu konzentrieren, und schlägt u.a. vor, zusätzlich mittels der Suffizienzstrategie

langfristig „auf die Lebensstile, Konsumwünsche und Verhaltensweisen von Verbrauchern [einzuwirken]“ (RAMMLER 2015). Verbraucher:innen als Teil der Gesellschaft bilden ein soziales System. Das Ordnungsprinzip sozialer Systeme ist der Sinn. Folglich besagt die Suffizienzstrategie, dass dieser neu konstituiert werden muss, und besitzt somit Parallelen zum Perspektivwechsel aus Abschnitt 3.8.2.

### Ziele aus Sicht der Landschaftsplanung und des Naturschutzes

Im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) werden u.a. die „Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege“ beschrieben. ERBGUTH & SCHLACKE (2016) identifizieren mit „der biologischen Diversität, [...der] Sicherung der materiell-physischen Funktionen und [...der] Sicherung der immateriellen Funktionen“ (vgl. ERBGUTH & SCHLACKE 2016) drei Hauptzielkategorien. Der § 1 Abs. 1 BNatSchG verweist darauf, dass „Natur und Landschaft [...einerseits] auf Grund ihres Eigenwertes [...] und [andererseits] als Grundlage für Leben und Gesundheit des Menschen“ zu schützen sind. Natur erhält damit einen Eigenwert, welcher „nicht durch einen Nutzen gerechtfertigt“ wird (MÜLLER 2017). Im Holismus „besitzen alle Naturwesen und natürlichen Gesamtsysteme [...] moralische Rechte“ (MÜLLER 2017). Im Umkehrschluss „haben Menschen Pflichten [...] auch gegenüber der Natur“ (MÜLLER 2017). Folglich besteht im Holismus eine „Beweisumkehr“, so dass jeder Eingriff in die Natur begründet werden muss (vgl. MÜLLER 2017). Auf ethische Fragestellungen wird in Abschnitt 4.9 vertiefend eingegangen.

Wenn die Gründe für den Erhalt einer intakten Natur jedoch aus dem **Nutzen für den Menschen** abgeleitet werden, wie dies im BNatSchG durch die Funktionssicherung zum Ausdruck kommt, dann ist dies eine **anthropozentrische Sichtweise** (vgl. MÜLLER 2017). Eine solche ist gesellschaftlich vermutlich besser zu vermitteln als eine holistische. FÜRST & SCHOLLES (2008) argumentieren, dass alles andere auch gar nicht möglich sei. Daraus lässt sich schließen, dass Landschaft und Natur als System vorrangig aus dem Verhaltensaspekt von

Systemen (was tut das System?) und dem sich daraus für den Menschen ergebenden Nutzen betrachtet wird. Dennoch ist der Eigenwert der Natur im BNatSchG festgeschrieben und nimmt damit die Stellung des (Selbst-)Zweckaspektes wahr, womit das System den Sinn für das, was es tut, aus sich selbst herauszieht.

KÖPPEL et al. (2007) vergleichen „die Schutzgüter [nach § 2 UVPG] mit den [...im BNatSchG] genannten Zielen und Grundsätzen [...und erkennen] Übereinstimmungen bzw. Interpretationsmöglichkeiten in Richtung einer ökosystemaren Betrachtungsweise“ (KÖPPEL et al. 2007).

### Ziele aus Sicht der Raumordnung

Das ROG verfolgt „den Umweltschutz nur als eines von mehreren Zielen“ (ERBGUTH & SCHLACKE 2016). Gemäß § 1 Abs. 1 Satz 1 ROG hat die Raumordnung die Aufgabe, „unterschiedliche Anforderungen an den Raum aufeinander abzustimmen und die auf der jeweiligen Planungsebene auftretenden Konflikte auszugleichen“. Darüber hinaus wird nach § 1 Abs. 2 ROG auf eine „nachhaltige Raumentwicklung [abgezielt], die die sozialen und wirtschaftlichen Ansprüche an den Raum mit seinen ökologischen Funktionen in Einklang bringt und zu [...] gleichwertigen Lebensverhältnissen [...] führt“.

Die Konkretisierung der Ziele der Raumordnung erfolgt über die einzelnen Planungsebenen „kaskadenartig vom Bund über die Länder, die Regionen und Gemeinden“ (FÜRST & SCHOLLES 2008). Allerdings stellt dies keine Hierarchie im eigentlichen Sinne dar, da sich nach § 1 Abs. 3 ROG einerseits „[d]ie Entwicklung, Ordnung und Sicherung der Teilräume [...] in die Gegebenheiten und Erfordernisse des Gesamttraumes einfügen“, andererseits „die Entwicklung, Ordnung und Sicherung des Gesamttraumes [...] die Gegebenheiten und Erfordernisse seiner Teilräume berücksichtigen [soll] (Gegenstromprinzip).“

## Zwischenfazit zu Zielen im Rahmen der Transformation von Straße und Landschaft

Es wurde festgestellt, dass die Ziele, welche in Verbindung mit der Transformation *SuL* stehen, partikular geprägt sind. RITTEL (2013) führt aus, dass Planungsprobleme in diesem Zusammenhang bössartig sind und ein Verständnis derselben bereits eine Vorstellung zu deren Lösungsmöglichkeiten voraussetzt (vgl. Aspekte B und C in Abschnitt 4.3). Diese Vorstellungen unterschiedlicher Akteur:innen können voneinander abweichen. Dies einbeziehend und durch die Annahme der These aus Abschnitt 3.3, wonach *SuL* ein System bilden, **muss folgerichtig auch ein systemisches Vorgehen für die Definition des Problems erfolgen**. Mithin sollte untersucht werden, ob daraus ein von partikularen Interessen entkoppeltes Systemziel entwickelt werden kann.

Der Erfolg der Transformation des Systems SuL wird als Systemtransformationserfolg bezeichnet und wird hergestellt, wenn Systemziele und Transformationsziele erreicht werden. Obschon nur wenige Akteur:innen betrachtet wurden, kann festgehalten werden, dass im System SuL nicht nur ein Ziel, sondern ein komplexes, mehrdimensionales Zielsystem mit Zielen unterschiedlichen Grades der Operationalisierung und unterschiedlichen Zielbeziehungen existiert.

Dieses Zielsystem ist hierarchisch gegliedert, wobei die Hierarchie durch einen Ziel-Mittel-Zusammenhang charakterisiert ist und Kontingenz hinsichtlich der Mittel eines Zieles bestehen kann. Auch wenn einige Ziele aufgrund ihres rechtlichen Status keine Mussziele sind, so kann man sie dennoch aufgrund der politischen Bedeutung mindestens als Sollziele einordnen.

Die Ziele sind größtenteils anthropozentrisch motiviert und haben beispielsweise die Ansprüche an den Raum oder die Funktionsfähigkeit für die menschliche Gesellschaft im Fokus. Die Probleme, mit welchen sich die Ziele beschäftigen, sind bössartig (*wicked problems* nach Rittel 2013) und nur schwer definierbar, da durch die Definition auch bereits eine Lösung vorgegeben ist.

Die systemische Betrachtung von SuL bedarf daher eines **von partikularen Interessen entkoppelten Systemziels.**

Im folgenden Abschnitt soll untersucht werden, welchen Einfluss die Ziele und Ansprüche vieler Stakeholder auf das System SuL besitzen.





Multistakeholder-Systeme zeichnen sich u.a. durch die hohe technische, ökologische sowie soziale Komplexität aus. Das Zusammentreffen vieler interner und externer Stakeholder bedingt mit hoher Wahrscheinlichkeit partielle Überschneidungen von Interessen. Die reduktionistische und damit einhergehende sektorale Betrachtung einzelner Entitäten des Gesamtsystems haben zunächst den Vorteil, dass Ziele einfacher zu definieren sind, da sie nur den Blickwinkel einzelner Akteur:innen repräsentieren. Dies begünstigt folglich eine vergleichsweise einfache Erfolgsmessung, vernachlässigt jedoch die Komplexität, die Wechselwirkungen und die Dynamik des Gesamtsystems. Das komplexe System lässt verschiedene, individuell wählbare Ausschnitte zu. Man kann daher davon ausgehen, dass das Wissen über das Zielsystem von Multistakeholder-Projekten, bedingt durch die notwendige Verminderung der Komplexität und der daraus resultierenden sektoralen Betrachtungen des Gesamtsystems, nur ein partielles Bild des Gesamtsystems abbildet.

Multistakeholder-Projekte besitzen häufig eine lange Projektlaufzeit. Insbesondere wenn sich die **Planung** von Großprojekten über Zeiträume von vielen Jahren bis zu einigen Jahrzehnten erstreckt, besteht die Möglichkeit, dass sich die Stakeholder-Landschaft verändert, da „Menschen [...] ihre Meinung [ändern]“ (MEYER & REHER 2015) oder auch neue Stakeholder in das Geschehen eingreifen und sich dadurch die Ziele und Widerstände dieser Gruppen transponieren können. Die **Komplexität der Stakeholder-Landschaft** steigt. Dies ist, wie FLYVBJERG (2017) ausführt, vor allem für Großprojekte ein gefährlicher Umstand, insbesondere dann, wenn Stakeholder Einfluss auf das Projekt ausüben können. Mit Blick auf die „Stakeholder-Komponente“ der Erfolgsdefinition geht bei Multistakeholder-Projekten eine **Dynamik des Projekterfolgs** einher (vgl. GOTTERT 2015).

Daher ist die **Stakeholder-Zufriedenheit** als statisches Messinstrument für den Projekterfolg von Multistakeholder-Projekten **nicht geeignet**, denn damit wird der Projekterfolg aus Sicht interessierter

Gruppen nur eingeschränkt überprüfbar. Sie sind jedoch Teil des Multistakeholder-Systems und setzen den Großprojekten häufig Widerstand entgegen, mit den in Abschnitt 3 genannten negativen Auswirkungen für das Projekt.

Die Dynamik des Projekterfolgs kann ebenso seitens der Projektauftraggeber:innen nicht ausgeschlossen werden, wenn diese ihre Vorstellungen hinsichtlich der finanziellen, terminlichen sowie qualitativen Zielvorstellungen für die Realisierung der Projekte formulieren, beispielsweise aufgrund veränderter politischer Rahmenbedingungen. Sie besitzen zudem eine hohe öffentliche Aufmerksamkeit, wie es beispielsweise das mediale Interesse im Zuge der Neuordnung des Bahnknotens Stuttgart (Stuttgart 21) illustriert.

Stakeholder können in ihrem Interessen- oder Aufgabengebiet, welches lediglich einen Sektor innerhalb des komplexen Systems darstellt, planvoll agieren (Abbildung 24). Im Kontext der Systemtransformation besteht ein **Multihandlungshorizont** mit hoch diversen Zielen, Umständen, Handelnden sowie Mitteln des Handelns.

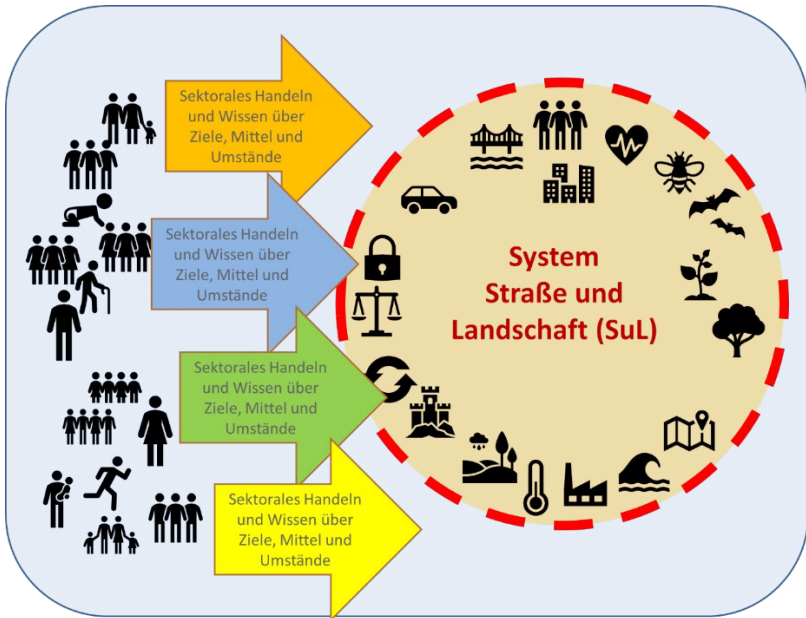


Abbildung 24: Multistakeholder-Ziele bei der Transformation von SuL (eigene Darstellung).

Die einzelnen Stakeholder verfügen zwar über ein individuelles Wissen über sektorale Ziele, Mittel und Umstände, doch bezieht sich dieses Wissen nicht zwingend auf die Ziele und Mittel anderer Stakeholder, welche in einem transzendenten System wiederum die Umstände der sektoralen Ziele darstellen. Dies fließt in eine Weiterentwicklung des Modells des teleologischen Handelns nach Aristoteles ein (Abbildung 14). Daraus ergeben sich jedoch die folgenden Probleme:

- Wissen von den Umständen ist schwierig zu erlangen, wenn in einem dynamisch komplexen System Wirkbeziehungen zwischen Entitäten und Zielen bestehen.
- Das *P-System* steht vor der Herausforderung, im Rahmen der Planung permanent Entscheidungen treffen zu müssen, bei-

spielsweise über die konkreten Ziele oder die Mittel des zukünftigen Handelns in einem komplexen System, in welchem das Wissen über die Umstände gering sein könnte (vgl. Abschnitt 4.4).

- Gerade das *P-System* mit seinen Akteur:innen hat aufgrund der strukturellen Kopplung mit dem *SuL*-System eine gehobene Bedeutung für die Gestaltung der Transformation denn diese greifen u.U. in das Ordnungsprinzip des Systems ein und sollten das dazu notwendige Wissen über die Umstände besitzen.
- Wenn das Zielsystem komplex und das Wissen über die Umstände nur eingeschränkt vorhanden ist, dann ist Erfolg als das Ergebnis von Handlungen nicht als Ganzes messbar.

Neben der Mehrdimensionalität des Zielsystems (vgl. Abschnitt 4.5), sind auch die Mehrdimensionalität des Systems *SuL* sowie die vielfältige Akteur:innenlandschaft zu beachten.

In komplexen Systemen können durch die vielfältigen Wirkbeziehungen Änderungen auf einer Ebene zu Auswirkungen auf den anderen Ebenen führen. Im Beispiel könnte der Bau der Ortsumfahrung mit Lärmschutzwand kleinklimatische Änderungen bewirken (vgl. BRACHER & BÖSL 2017). Übertragen auf das System *SuL* kann man davon ausgehen, dass nicht nur die Systemdimensionen gestört werden, sondern zusätzlich die Wirkbeziehungen zwischen Entitäten verschiedener Systemdimensionen betroffen sein können. Dies hängt konkret von den Umständen ab und leitet über zu Abschnitt 4.7, in welchem das Wissen über die Umstände im dynamisch komplexen System *SuL* für das Treffen von Entscheidungen näher betrachtet wird.

**Zwischenfazit:** Eine große Zahl von Akteur:innen im *P-System* bewegt sich in einem Multihandlungshorizont. Sie greifen mit ihren Entscheidungen unter Unsicherheit in das System *SuLT* in mehreren Systemdimensionen ein und können damit dessen Ordnungsprinzipien verändern. **Gleichzeitig ist aufgrund der Komplexität der Erfolg der Handlungen** der Akteur:innen für das System **objektiv nicht messbar**. Die Ergebnisse dieser Handlungen können hingegen seitens der Stakeholder auf der Basis von sektoralen Zielen bewertet werden, was dazu führen kann, dass Stakeholder oder -gruppen den Erfolg der Handlungen unterschiedlich bewerten.

#### 4.7 Das Wissen über die Umstände im dynamisch komplexen System Straße und Landschaft

Die sich aus der gedanklichen Erweiterung des Modells des teleologischen Handelns (vgl. Abbildung 14) ergebenden Probleme beinhalten im Kern die Frage nach dem Wissen der Akteur:innen über die Umstände des zukünftigen Handelns bei gleichzeitiger Notwendigkeit für die Akteur:innen im *P-System*, im Rahmen der Planung Entscheidungen treffen zu müssen. Das ist beispielsweise in den Prozessphasen der Fall, welche der Bestimmung der Linie vorausgehen. In Tabelle 5 werden die drei Erwartungsstrukturen der Umweltzustände genannt: Entscheidung bei Sicherheit, bei Risiko sowie bei Unsicherheit i.e.S. Eine Einordnung ist relevant für die Auswahl des geeigneten Werkzeuges für eine rationale Entscheidung basierend auf der präskriptiven Entscheidungstheorie. GÖBEL (2018) beschreibt **formale Rationalität** als Entscheidung „für die beste Alternative“ auf der Grundlage eines Zielsystems. Dagegen meint **substanzielle Rationalität**, „ein bestimmtes Ziel als richtig voraus[zusetzen] und [...] die Aktion im Hinblick auf dieses Ziel [zu bewerten]“ (GÖBEL 2018).

Nachstehend wird versucht, eine Einordnung hinsichtlich der Erwartungsstruktur vorzunehmen und sowohl formale als auch substantielle Rationalität zu wahren.

In Abschnitt 4.5 wird u.a. gefolgert, dass die Akteur:innen bei der Transformation von *SuL* mit einem komplexen, mehrdimensionalen Zielsystem konfrontiert werden. Wenn Ziele zudem einen geringen Operationalisierungsgrad haben, dann ist die Hierarchisierung und Dekomposition von Zielen ein Werkzeug, mit welchem die Entscheidenden „das Entscheidungsproblem über mehrere Zielgrößen formulieren“ (LAUX et al. 2014). Die Beschäftigung mit dem Multistakeholder-System *SuL* in Abschnitt 4.6 zeigt, dass es eine hohe technische, ökologische sowie soziale Komplexität aufweist und zudem eine hohe Dynamik besitzt, auch bei Akteur:innen und deren Zielen bei gleichzeitig langen Planungs- und Umsetzungszeiträumen.

Die Entscheidung für ein Handeln zum Erreichen eines Ziels gibt einen Lösungsweg vor und stellt gleichzeitig den Beginn einer kausalen Kette dar, indem die gefundene Lösung zur Ursache eines neuen Problems wird (vgl. RITTEL 2013).

Damit bewegen sich diejenigen Entscheidungen im Planungsprozess, welche der Linienbestimmung vorausgehen, in einer komplexen Entscheidungsproblematik. Die Akteur:innen greifen in das Ordnungsprinzip des dynamisch komplexen Systems Straße und Landschaft ein und erzeugen durch ihre Entscheidungen neue Probleme im System, welche sie im ungünstigen Fall zum Zeitpunkt der Entscheidung nicht vorhersehen.

Wenn das Wissen über die Umstände bei den Akteur:innen einerseits nur sektoral vorhanden ist, und andererseits die Ziele weitgehend auf die Funktion aus anthropozentrischer Sicht formuliert sind (vgl. Abschnitt 4.5), dann ist fraglich, wie erstens der voraussichtliche Erfolg

als das Resultat zukünftigen Handelns abgeschätzt werden und zweitens Abwägungen möglich sein können.

**Anthropogenes Handeln** kann jedoch signifikante Auswirkungen in einem dynamisch komplexen Ökosystem auslösen. So verweisen ESTES et al. (2011) auf **Phasenübergänge**, welche in diesen Systemen zu finden sind: „Alternative stable states occur when perturbations of sufficient magnitude and direction push ecosystems from one basin to another“ (ESTES et al. 2011). Derartige Phasenübergänge können in sogenannten Bifurkations-Diagrammen dargestellt werden (vgl. Abbildung 25). Darin wird gezeigt, wie Systeme „einen kritischen Schwellenwert überschreiten“ (MAINZER 2008). Der Systemzustand wird dann von einem oder mehreren neuen **Attraktor(en)** angezogen, „ein Zustand, in den ein dynamisches System langfristig hineingezogen wird“ (MAINZER 2008). Man kann davon ausgehen, dass Phasenübergänge in dynamisch komplexen System mit sehr großer Verzögerung erfolgen.

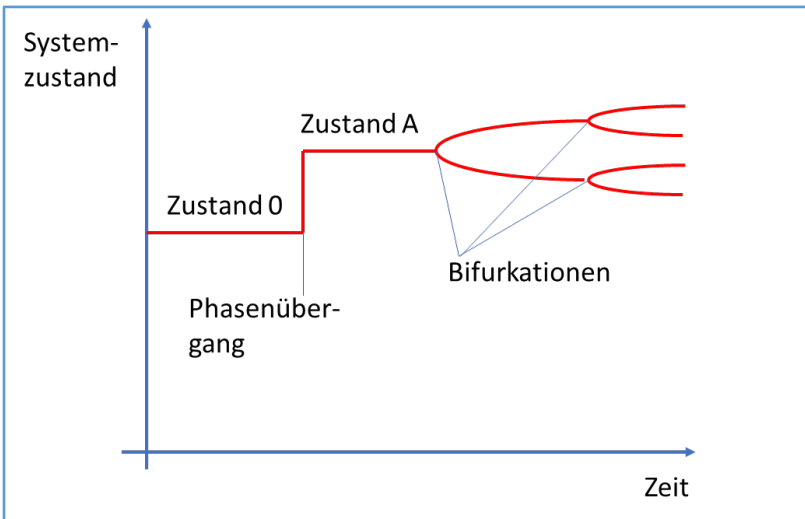


Abbildung 25: Bifurkations-Diagramm (eigene Darstellung, geändert nach (Mainzer, 2007)).



**Attraktoren** finden sich nicht nur in Ökosystemen. RAMMLER (2015) identifiziert sie auch bei **Verkehrssystemen**, und zwar „dort, wo Risiken in konkrete, politisch und sozial nicht mehr kontrollierbare Gefährdungslagen umschlagen, wie es heute bereits vielerorts der Fall ist“ (RAMMLER 2015). Er setzt diese Erkenntnis in Bezug zu den Auswirkungen der Verkehrsinfrastruktur auf die Umwelt und regt ein Umdenken im Gesellschaftssystem an. Ferner setze dies voraus, „dass die wichtigsten **Kippunkte irreversibler Zerstörung der Ökosysteme** nicht bereits hinter uns liegen“ (RAMMLER 2015). Auch soziale Systeme kennen solche Phasenübergänge, welche häufig durch Irritationen von außen entstehen (vgl. BORGERT 2012, LUHMANN 2015, BERGHAUS 2011). Das Umdenken innerhalb eines Gesellschaftssystems kann man als **Änderung des Ordnungsprinzips (Codes)** eines sozialen Systems verstehen (vgl. Abschnitt 3.4). Auch darin zeigt sich die Bedeutung des (sozialen) *P*-Systems, welches durch seine strukturelle Kopplung mit dem *SuL*-System in dessen Ordnungssystem auf der Grundlage des eigenen oder gesellschaftlichen Ordnungsprinzips (Sinn) eingreifen kann. Den von ESTES et al. (2011) veröffentlichten Erkenntnissen ging eine Reihe von Studien voraus, von denen einige Ergebnisse in Tabelle 10 zusammengefasst sind.

Tabelle 10: Auswahl von Studien zu Phasenübergängen.

Schlüsselart des Ökosystems	Ursache	Folge	Quelle
<b>Seestern</b> ( <i>Pisaster ochraceus</i> )	experimentelles Entfernen von <i>Pisaster ochraceus</i>	reduzierte Artenvielfalt	(PAINE 1966)
-	Invasion der Cutthroat-Forelle ( <i>Oncorhynchus clarkia</i> )	u.a. Rückgang der Population von Wapitis ( <i>Cervus elaphus</i> )	(MIDDLETON et al. 2013)
<b>Wolf</b> ( <i>Canis lupus</i> )	Entnahme des Wolfes im Yellowstone Nationalpark (USA) durch den Menschen	u.a. Rückgang der Wapiti-Population ( <i>Cervus elaphus</i> ), Zunahme der Biber-Population ( <i>Caster canadensis</i> ), Zunahme der Bison-Population ( <i>Bison bison</i> )	(RIPPLE & BESCHTA 2012)
<b>Seeotter</b> ( <i>Enhydra lutris</i> )	Walfang durch den Menschen	u.a. Rückgang der Seeotter-Population, Rückgang der Population von Seeigeln (Echinoidea), Rückgang der Bestände von Seetang	(ESTES et al. 1998)

Mit Ausnahme der Studie nach Middleton ist diesen gemein, dass sie sogenannte „keystone species“ (Schlüsselarten) identifizieren. Werden diese dem Ökosystem entnommen, dann bedeutet dies ein „**downgrading**“ des Ökosystem. Damit befindet sich das System im Einflussbereich eines Attraktors, einem Systemzustand mit geringerer Artenvielfalt.

Können Eingriffe in ein dynamisch komplexes Ökosystem zu Übergängen im Phasenraum führen, diese Folgen und damit die Ausprägung relevanter Entscheidungskriterien werden aber aufgrund der Dynamik zum Zeitpunkt der Entscheidung nicht erkannt, **dann ist dies eine Entscheidung bei Unsicherheit i.e.S.**

Wenn es als wahrscheinlich anzusehen ist, dass Entscheider:innen nicht die Ausprägungen aller relevanten Entscheidungskriterien kennen können, da diese ihnen zum Zeitpunkt der Entscheidung entweder nicht zugänglich gemacht wurden oder aus anderen Gründen nicht bekannt sind, dann handelt es sich im besten Fall um eine **Entscheidung bei Risiko**, im ungünstigsten Fall um eine **Entscheidung bei Unsicherheit i.e.S.**

#### 4.8 Deskriptive Betrachtung der Abwägung als Entscheidungsregel der Planung von Verkehrsinfrastrukturprojekten

In diesem Abschnitt soll untersucht werden, wie das Wissen über die Auswirkungen verschiedener Möglichkeiten des Handelns der Entscheidung für eine der Alternativen vorausgeht, also **nach welchen Kriterien** die Planenden ebenso wie die Zulassungsbehörden Planungs- bzw. Zulassungsentscheidungen treffen können. Hinsichtlich der Verfahren der Projektzulassung „kann man grundsätzlich unterteilen in **Ermessensentscheidungen**, die eine **Abwägung** beinhalten

(Planfeststellung, Plangenehmigung), und so genannte **Kontrolleraubnisse**, bei denen Zulassungsstandards abgearbeitet werden (Baugenehmigung, immissionsschutzrechtliche Genehmigung)“ (FÜRST & SCHOLLES 2008).

Gemäß § 17 Bundesfernstraßengesetz (FStrG) „[dürfen] Bundesfernstraßen [...] nur gebaut oder geändert werden, wenn der Plan vorher festgestellt ist“. Demnach ist bei der Planung von Bundesfernstraßen das Instrument zum Umgang mit Zielkonkurrenz die Abwägung (vgl. BRACHER & BÖSL 2017, SCHWEDES 2018). „Abwägung ist ein bewertender Vorgang, bei dem konkurrierende Nutzungen nach Prioritäten gewichtet und gereiht werden“ (FÜRST & SCHOLLES 2008). In § 17 FStrG wird darauf hingewiesen, dass „die von dem Vorhaben berührten öffentlichen und privaten Belange einschließlich der Umweltverträglichkeit im Rahmen der Abwägung zu berücksichtigen [sind]“. Nach den Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (RE) „sind [Abwägungen] im Planungsprozess mehrfach erforderlich“. Auf die Notwendigkeit der Auswahl aus verschiedenen Alternativen verweist ein Urteil des Bundesverwaltungsgericht (BVerwG), nach welchem „Planung ohne Gestaltungsfreiheit ein Widerspruch in sich wäre“ (Urteil vom 12.12.1969, Az.: BVerwG IV C 105.66). Dies gilt auch für behördliche Akteur:innen der Planung, denn wachsende Komplexität und gesellschaftlicher Wandel bedingen zunehmend Freiräume des Handelns (vgl. FÜRST & SCHOLLES 2008).

Diese Freiheit steht allerdings auch im Spannungsverhältnis zu der in Abschnitt 4.6 genannten dynamischen Komplexität des Zielsystems. Die Unsicherheit für die Planenden wird durch die Gefahr des Scheiterns aufgrund von Planungs- oder Abwägungsfehlern deutlich erhöht, insbesondere dann, wenn das schwer zu überblickende Zielsystem lückenhaft ist (vgl. ANDERS & BOTT 2016, LAUX et al. 2014). Ermessen hat mit Unsicherheit und zukünftigem Risiko zu tun (vgl. FÜRST & SCHOLLES 2008, MINTZBERG 2000, WILDAVSKY 1988). ERBGUTH &

SCHLACKE (2016) verweisen hingegen darauf, dass sich bei Ermessensentscheidungen „die Kontrolle auf Ermessens- bzw. Abwägungsfehler [reduziert]“ (ERBGUTH & SCHLACKE 2016).

Die Tabelle 11 gibt einen Überblick über mögliche Abwägungsfehler, welche „sowohl für den Abwägungsvorgang als auch für das Abwägungsergebnis [gelten]“ (ERBGUTH & SCHLACKE 2016, FÜRST & SCHOLLES 2008).

*Tabelle 11: Mögliche Abwägungsfehler nach (FÜRST & SCHOLLES 2008, ERBGUTH & SCHLACKE 2016).*

<b>Abwägungsfehler</b>	<b>Erläuterung des Begriffes</b>	<b>kritische Betrachtung in Bezug auf die Transformation von Straße und Landschaft</b>
<b>Abwägungsausfall</b>	es findet keine Abwägung statt	ist überprüfbar
<b>Abwägungsdefizit</b>	keine Berücksichtigung „aller abwägungsrelevanten Belange“	Das Wissen über Umstände und Folgen des Handelns ist bei dynamisch komplexen Systemen begrenzt (vgl. Abschnitt 4.7)
<b>Abwägungsfehlengewichtung</b>	„[die] Bedeutung der betroffenen Belange [wird] verkannt“	Bedeutung eines Aspektes hängt von den Akteur:innen und deren Zielvorstellungen ab; Entitäten, deren Änderungen zu Phasenübergängen führen, können nur durch eine systemische Betrachtung identifiziert werden
<b>Abwägungsdisproportionalität</b>	abgewogene Belange stehen untereinander nicht	Um diesen Abwägungsfehler zu vermeiden müsste ein Werkzeug für die objek-

Abwägungsfehler	Erläuterung des Begriffes	kritische Betrachtung in Bezug auf die Transformation von Straße und Landschaft
	in einem objektiven Verhältnis	tivate Betrachtung der Belange in Multistakeholder-Projekten mit einem mehrdimensionalen Zielsystem existieren.
<b>Abwägungsdefizit</b>	Planalternativen werden nicht in die Abwägung mit einbezogen	Die Anzahl möglicher Alternativen bösartiger Probleme kann nicht bestimmt werden (vgl. Aspekt G)

FÜRST & SCHOLLES (2008) verweisen darauf, dass „[die] Gerichte [...] nicht in der Lage sind, die oft komplizierten fachlichen Grundlagen nachzuvollziehen“, und dass diese sich daher darauf beschränken, zu prüfen, „ob naheliegende Alternativen berücksichtigt wurden und ob die Belange richtig gewichtet wurden“ (FÜRST & SCHOLLES 2008).

Dieses Vorgehen mag aus Gründen der schwierigen fachlichen Beurteilung seitens der Jurisprudenz verständlich sein. Der Hinweis auf „naheliegende Alternativen“ ist jedoch vor dem Hintergrund dynamischer Komplexität nur dann zielführend, wenn die Folgen der Alternativen bekannt sind. Mithin erfordert dies eine systemische Betrachtung des Gegenstands. Es sind verschiedene Aspekte zu beachten:

- Aufgrund unterschiedlicher Zielvorstellungen der Akteur:innen und der damit verbundenen schwierigen Bestimmung eines sich voraussichtlich einstellenden Erfolgs kann nicht eine eindeutig „richtige“ Alternative gefunden werden (vgl. Aspekt D in Abschnitt 4.3).
- Die Anzahl möglicher Lösungen ist nicht bekannt und es ist daher denkbar, dass die Planenden eine „bessere“ Lösung in

ihren Abwägungen aus Unkenntnis gar nicht berücksichtigen (vgl. Aspekt G in Abschnitt 4.3).

- Schließlich ist zu beachten, dass eine Vermeidung von Abwägungsdefiziten einer Berücksichtigung der Konsequenzen der Variante und deren Konsequenzen bedarf und dass die Akteur:innen – und im Falle von Rechtsstreitigkeiten die Gerichte - diese Wirkungen nur dann nachvollziehen können, wenn ihnen die Informationen über die Folgen der Handlungen auch zugänglich gemacht werden (vgl. Aspekt L in Abschnitt 4.3).
- Abschließend verweist RITTEL (2013) darauf, dass Rationalität im letzten Schritt zu Spontanurteilen führt, woraus gefolgert werden kann, dass bei *SuLT* keine absolute Rationalität existiert.

Es ist nach den Ausführungen dieses Abschnittes fraglich, ob Entscheidungen bei Unsicherheit im Kontext komplexer Multistakeholder-Projekte überhaupt frei von Abwägungsfehlern sein können.

Ferner ist die Freiheit der Planenden Ausdruck der Möglichkeit der Selbstorganisation komplexer Systeme und als solches ein Baustein funktionierender Systeme (vgl. MEADOWS & WRIGHT 2011).

Es stellt sich im ungünstigen Fall eine Abwägungssituation dar, in welcher die Entscheidenden eine Entscheidung bei Unsicherheit oder Risiko bei gleichzeitig signifikanten, aber nicht linearen, zeitlich verzögerten Auswirkungen für das System *SuL* treffen müssen. Dies resultiert in der These, dass Abwägung ohne Abwägungsfehler ebenso wenig möglich ist wie eine auf durchgängiger Rationalität beruhende Entscheidung.

Vom rationalen Entscheiden unter Beachtung von Rechtsnormen ist das moralische Handeln zu unterscheiden. Abschnitt 4.9 untersucht maßgebliche ethische Konzepte dahingehend, ob sie eine Hilfestellung für die Frage nach dem Begriff des Erfolgs der Transformation

leisten können. Die Betrachtungen stellen dabei die Moralität von Handlungen in den Vordergrund.

## 4.9 Ethik als Hilfe zur Beurteilung des richtigen Handelns

Unter **Planen** versteht man die „gedankliche Vorwegnahme künftigen Handelns“ (SCHNEEWEIß 1991, WÖHE 2000). „Die philosophische Ethik [...beschäftigt sich] mit unseren Handlungen [...] ebenso wie mit Handlungsabsichten, -zielen und -methoden“ (LUTZ-BACHMANN 2013). Sie untersucht „unser menschliches Handeln unter dem Gesichtspunkt der Moralität“ (LUTZ-BACHMANN 2013). Dabei „bezeichnet [Moral] die von einer menschlichen Gesellschaft anerkannten Normen und Werte“ (MÜLLER 2017), während **Ethik** die Moral philosophisch untersucht (vgl. MÜLLER 2017). Wenn Planung auf Handlungen abzielt, dann stellt sich für die Planenden die Frage, an welchen Regeln sich diese Handlungen orientieren sollen. FÜRST & SCHOLLES (2008) verweisen in diesem Zusammenhang auf Konventionen als „vereinbarte Regeln, (die nicht gerichtlich durchsetzbar sind), die auf Mehrheitskonsens der Fachwelt basieren“ (FÜRST & SCHOLLES 2008). Hierzu vermerken sie: „Ethischen Ansätzen kommt insofern eine hohe Bedeutung zu, als sie den Ausgangspunkt zur Bildung jeglichen gesellschaftlichen Regelsystems darstellen“ (FÜRST & SCHOLLES 2008). Dies ist bedeutsam, da das System der Planer:innen ein soziales System darstellt, welches eines Sinns als Ordnungsprinzip bedarf. Sinn kann u.a. durch Rechtsetzung hergestellt werden. Nach FÜRST & SCHOLLES (2008) ist zu diskutieren, ob öffentliche Bürokrationen, welche im Planungsprozess involviert sind, „ihre Aufträge nicht aus sich selbst schöpfen, sondern allein nach Gesetz“; sie bemerken hingegen auch, dass Sinn nicht allein durch Gesetze und Normen hergestellt werden kann, denn eine „juristische Festlegung muss nicht identisch sein mit dem, was moralisch zulässig ist“ (FÜRST & SCHOLLES 2008). Vielmehr



könne Rechtsetzung individuelle Moral bestenfalls unterstützen (vgl. FÜRST & SCHOLLES 2008). Eher sei eine gesellschaftliche Akzeptanz sowie die Zielsetzung des gesellschaftlichen Gemeinwohls anzustreben (vgl. FÜRST & SCHOLLES 2008).

Erfolg orientiert sich an der Zielerfüllung. Planung ist notwendig, um zukünftige Handlungen auf ein Ziel auszurichten. Damit ist neben der Frage nach dem **richtigen Handeln** auch die Frage nach den richtigen Zielen ethisch zu untersuchen. Ziele gehören zur Wertebene und „Planung ist ein wertender Beruf“ (FÜRST & SCHOLLES 2008). Daher müssen diese Wertungen begründet werden. Diese Begründung kann rationaler und / oder ethischer Natur sein. Im Zuge des Planungs- und Umsetzungsprozesses wird das 0-System zum 1-System transformiert (vgl. Abschnitt 3.5). Folglich muss erst das 0-System bewertet werden, um dann eine Planung durchzuführen (vgl. MÜLLER 2017). „Die Lösung dieses Dilemmas ist wiederum nur möglich, wenn Planer:innen einen ‘ethischen Kodex’ besitzen, der ihr Handeln leitet“ (FÜRST & SCHOLLES 2008). Wenn, wie in der Planung üblich, mehrere Handlungen und mehrere Ziele möglich sind, dann steht die/der Planer:in vor einem Entscheidungsproblem (vgl. Abschnitt 4.7).

Aus ethischer Sicht ist in diesem Zusammenhang die Frage relevant, an welchen **Zielen** man sich orientieren soll? Nach KANT & WEISCHEDEL (2016) gehört es zu den Pflichten, „sein Leben zu erhalten“ sowie die „eigene Glückseligkeit [zu] sichern“ (KANT & WEISCHEDEL 2016).

Dieser Selbsterhalt, allerdings nicht bezogen auf das einzelne Individuum, wird auch bei MÜLLER (2017) deutlich: „Es versteht sich von selbst, dass die Planung dafür sorgen muss, dass die für das Überleben notwendigen Mittel bereitgestellt werden können“ (MÜLLER 2017). Er geht allerdings darüber hinaus, denn zusätzlich „streben [wir] ein gutes Leben an“ (MÜLLER 2017). Mithin verweist er auf den Zusammenhang zwischen der Frage nach dem **guten Leben** und „der Arbeit von planenden Behörden“ (MÜLLER 2017). Dabei sieht er den Erhalt

der Lebensgrundlagen sowohl im Anthropozentrismus als auch im Holismus (vgl. MÜLLER 2017).

Auch MILL (2014), ein Vertreter des **Utilitarismus**, erkennt in „Nützlichkeit oder Glück [...die...] Leitvorstellungen des menschlichen Handelns“ (MILL 2014). Er knüpft damit an (BENTHAM 2012) an, welcher das Prinzip des Utilitarismus wie folgt definiert: „By the principle<sup>1</sup> of utility is meant that principle which approves or disapproves of every action whatsoever, according to the tendency which it appears to have to augment or diminish the happiness of the party whose interest is in question“ (BENTHAM 2012). Der Utilitarismus bewertet die Folgen einer Handlung. Dabei geht Mill auf die Bedeutung der Erfahrung Einzelner in Bezug auf die Wertung unterschiedlicher Freuden ein: „Wird die eine von zwei Freuden von denen, die beide kennen und beurteilen können, so weit über die andere gestellt, dass sie sie auch dann noch vorziehen, wenn sie wissen, dass sie größere Unzufriedenheit verursacht, und sie gegen noch so viele andere Freuden, die sie erfahren können, nicht eintauschen möchten, sind wir berechtigt, jener Freude eine höhere Qualität zuzuschreiben, die die Quantität so weit übertrifft, dass diese im Vergleich nur gering ins Gewicht fällt“ (MILL 2014).

Ebenso bemerkt er: „Darüber, welche von zwei Befriedigungen es sich zu verschaffen am meisten lohnt [...], kann nur das Urteil derer, die beide erfahren haben [...] als endgültig gelten“ (MILL 2014). Dabei gilt nach Mill bei unterschiedlichen Ansichten „das Mehrheitsvotum derer, denen beide vertraut sind“ (MILL 2014).

Dieser Ansatz ist bei der Planung komplexer Verkehrsprojekte allgemein wenig zielführend, da man sich aufgrund der in der DIN 69901 genannten „Einmaligkeit in der Gesamtheit“ der Bedingungen von

---

<sup>1</sup> “The word principle is derived from the Latin principium: which seems to be compounded of the two words *primus*, first, or chief, and *cipium*, a termination which seems to be derived from *capio*, to take, as in *mancipium*, *municipium*; to which are analogues, *aucepe*, *forceps*, and others” BENTHAM 2012.

Projekten nur schwerlich auf die Erfahrungen mit diesen Alternativen stützen kann. Bezieht man überdies die Zunahme der Komplexität durch den Schritt des Transzendierens in seine Überlegungen mit ein, so wird eine Abwägung auf der Grundlage von Erfahrungen immer schwieriger möglich sein. In diesem Zusammenhang sei beispielsweise auf die dynamische Komplexität verwiesen, nach welcher die Auswirkungen von Handlungen nicht linear dieser Handlung zugeordnet werden können, da sie erst mit großer zeitlicher Verzögerung auftreten (Stichwort Klimawandel). In diesem komplexen Umfeld besitzen die Planenden keinen Erfahrungsschatz.

Auch wenn der Utilitarismus den Nutzen hervorhebt, eine **moralische Begründung** für ein alle anderen Ziele überragendes Ziel sieht Mill nicht und postuliert, dass „Fragen nach letzten Zwecken [...] eines direkten Beweises nicht fähig [sind]“ (MILL 2014).

KANT (2019) wiederum stellt in seiner **deontologischen Pflichtenethik** ein oberstes Prinzip heraus, nach welcher „eine Handlung aus Pflicht [...] ihren Wert nicht in der Absicht [hat], welche dadurch erreicht werden soll, sondern in der Maxime, nach der sie beschlossen wird“ (KANT 2019). Er verweist auch darauf, dass dies ebenso für die Wirkungen einer Handlung gilt (vgl. KANT 2019). Kant definiert Pflicht als die „Notwendigkeit einer Handlung aus Achtung fürs Gesetz“ (KANT 2019). Er entwickelt dazu mit dem **kategorischen Imperativ** die Formel: „handle nur nach derjenigen Maxime, durch die<sup>1</sup> du zugleich wollen kannst, daß sie ein allgemeines Gesetz werde“ (KANT 2019). Nach MÜLLER (2017) stellt eine Maxime eine Lebensregel dar. Die Prüfung verläuft anhand der Frage, ob man wollen könne, **dass die Maxime** (und nicht etwa die konkrete Handlung) ein allgemeines Gesetz werde, also ob **alle** dies wollen können. Nach Müller ergeben sich daraus Pflichten in Form von Einschränkungen (vgl. MÜLLER 2017).

---

<sup>1</sup> Akad-Ausg. Erwägt: „von der“

Als relevant für den vorliegenden Kontext, insbesondere mit Blick auf die Nützlichkeit als ethisches Prinzip, erscheint die Formel des **praktischen Imperativs**. Sie besagt: „Handle so, daß Du die Menschheit, sowohl in deiner Person, als in der Person eines jeden andern, jederzeit als Zweck, niemals bloß als Mittel brauchest“ (KANT 2019). Der Physiozentrismus räumt ergänzend hierzu auch der Natur eigene Rechte unabhängig von ihrem Nutzen zu. Auch für Mill gelten moralische Regeln nicht nur für den Menschen, sondern „für die gesamte fühlende Natur“ (MILL 2014). Er beschreibt, dass die „Moral [auch] mit der Rücksicht zu tun hat, die wir den Interessen unserer Mitgeschöpfe schulden“ (MILL 2014). Daraus erwächst eine Verantwortung der Planung gegenüber der Natur.

## Planung und Verantwortung

Die Planungstätigkeit mit dem Ziel der Veränderung in einem sozio-ökonomischen System kann, wie in Abschnitt 4.7 erwähnt, einen Eingriff in das Ordnungsprinzip dieses Systems darstellen. Wenn in dynamisch komplexen Systemen Wirkungen die Ursache weiterer Konsequenzen sind, dann haben die Akteur:innen nur einen Versuch. RITTEL (2013) benennt dies als „one-shot-operation“. Wenn bösartige Probleme einzigartig sind und deren Lösung als one-shot-operation betrachtet werden, welche irreversibel in das System und damit in die Lebenswirklichkeit vieler und vielem eingreifen, dann bedeutet dies eine immense **Verantwortung** der Planenden bei der Abwägung und Entscheidung (vgl. Abschnitt 4.3).

MAASER (2015) stellt den Begriff des Wissens in den Vordergrund bei Fragen nach der Verantwortung von Akteur:innen: „Je abstrakter und unanschaulicher das Verhältnis zwischen handelnden Subjekten und zeitverzögert eintretenden Folgen ist, desto bedeutungsvoller ist die Funktion des Wissens“ (MAASER 2015). Dieses Wissen ist jedoch unvollständig und führt zu Entscheidungen bei Unsicherheit (vgl. Ab-

schnitt 4.7). Er verweist ferner darauf, dass die Folgen im Kontext sozialer Systeme im Gegensatz zu jenen in technischen Systemen nicht determiniert und dass diese vielmehr kontingenter Natur seien (vgl. MAASER 2015).

Ein denkbarer Weg für den Umgang mit dieser Verantwortung könnte es sein, das Wissen über die Umstände der verschiedenen Akteur:innen zusammenzuführen und in einen konsensualen Zusammenhang zu stellen.

LUTZ-BACHMANN (2013) erkennt in dieser **Diskursethik** eine Erweiterung der Pflichtenethik Kants dergestalt, dass es dort ein oberstes Prinzip gibt. In der Diskursethik stehen zwei Prinzipien im Vordergrund:

- Dies ist einerseits der transzendentalpragmatische Grundsatz „D“, wonach „nur die Normen Geltung beanspruchen dürfen, die die *Zustimmung der Betroffenen* als Teilnehmer eines praktischen Diskurses *finden*“ (vgl. HABERMAS 2015).
- Das zweite Prinzip, der Universalisierungsgrundsatz „U“, bezieht wiederum die Folgen des Handelns mit ein. Daraus lassen sich Verbindungen zum Utilitarismus ableiten.

## Zusammenführung und Bewertung

Wenn unser Handeln auf Ziele ausgerichtet ist, und Kontingenz hinsichtlich der Mittel und damit unterschiedlicher Handlungen besteht, dann müssen deren Auswirkungen auch unter ethischen Gesichtspunkten betrachtet und gegeneinander abgewogen werden. Daraus kann dem **Utilitarismus** als dem Modell der Maximierung des Nutzens eine hervorgehobene Stellung eingeräumt werden. Gerade mit Blick auf die vorgeschlagene Modellbildung und Simulation von Straße und Landschaft in der Transformation bietet die Analyse der **Folgen der Planung** einen wichtigen Erkenntnisgewinn für die Entscheidungen im Rahmen dieser Transformation. Dies korrespondiert auch mit § 13 BNatSchG, nach welchem „erhebliche Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft [...] vom Verursacher vorrangig zu vermeiden [sind]“.

Dennoch darf nicht vernachlässigt werden, dass Entscheidungen im Umfeld von *SuL* wegen der Komplexität häufig bei Unsicherheit getroffen werden müssen (vgl. Abschnitt 4.7). Wenn die Folgen nicht umfassend bekannt sind, dann bedarf dies eines weiteren Elements der Moralität. Hier bietet der **kategorische Imperativ** Immanuel Kants die Möglichkeit, eine Maxime für die Transformation von *SuL* aufzustellen und damit einen Bogen zu spannen hin zur Systemtheorie nach Luhmann, da diese Maxime als **Sinn des sozialen Systems der Planenden, aber auch der Gesellschaft** dienen kann. Dies erfordert in Multistakeholder-Projekten mit widerstreitenden Interessen einer breiten Zustimmung der Akteur:innen und folgt damit der Argumentation der **Diskursethik**.

Die Verantwortung der Akteur:innen bei der Planung der **Transformation von Straße und Landschaft als „one-shot-operation“** bedarf eines kategorischen Imperativs, welcher, auf einer breiten Basis hergestellt wird und somit den Teil eines gesellschaftlichen Codes bildet.

## 4.10 Analyse zur Entwicklung von Vorschlägen für die Definition des Erfolgs der Transformation des Gesamtsystems Straße und Landschaft im Rahmen raumwirksamer Multistakeholder-Großprojekte

In diesem Abschnitt sollen die Erkenntnisse der theoriebasierten Exploration zu den Themenfeldern Erfolg, Ziele, Stakeholder, Entscheidungstheorie und Ethik verbal-argumentativ zu einem Vorschlag für die Messung des Erfolgs der Transformation des Systems Straße und Landschaft weiterentwickelt werden.

### Zusammenführung der verbal-argumentativen Analyse

- Ziele, Akteur:innen, das Wissen über die Umstände und die Handlungsmöglichkeiten stehen in einer engen Beziehung zueinander.
- Das Zielsystem der Transformation von *SuL* ist komplex, mehrdimensional und beinhaltet Ziele unterschiedlichen Grades der Operationalisierung sowie unterschiedlicher Korrelation.
- Das Zielsystem ist hierarchisch gegliedert und steht in einem kontingenten Ziel-Mittel-Zusammenhang.
- Viele der sektoralen Ziele verfolgen einen anthropozentrischen Ansatz und sind auf Funktion bzw. Nutzen bezogen.
- Abwägungsfehler können im Konfliktfall kaum erkannt werden.
- Die Transformation von *SuL* im Rahmen der Planung und Realisierung von Projekten der Verkehrsinfrastruktur stellen ein bösartiges Problem nach RITTEL (2013) dar.

- Das *P-System* greift in den Phasen bis zur Bestimmung der Linie nach § 16 FStrG in besonderem Maße in das Ordnungsprinzip des *SuL*-Systems ein. Dazu bedarf es eines möglichst präzisen Wissens über die Umstände im System.
- Zur Verringerung der Unsicherheit sollten die Handlungen anhand der Prognose ihrer Folgen bewertet werden.
- In dynamisch komplexen Systemen ist es schwierig, Wissen über alle entscheidungsrelevanten Umstände zu erlangen.
- Ohne Wissen über die Umstände ist Erfolg als Ergebnis von Handlungen nicht messbar. Erfolg wird in dynamisch komplexen sozioökonomischen Systemen schwierig bestimmbar.
- Es kann zu Abwägungssituationen kommen, in welchen die Akteur:innen im *P-System* eine Entscheidung bei Unsicherheit oder Risiko bei gleichzeitig signifikanten, aber nicht linearen zeitlich verzögerten Auswirkungen für das System *SuL* treffen müssen.
- Planung soll dazu beitragen, einerseits lebensnotwendige Grundlagen zu erhalten und andererseits das Glück zu steigern.
- Der kategorische Imperativ Immanuel Kants bietet die Möglichkeit, eine *Maxime* für die Transformation von *SuL* aufzustellen und damit Sinn des *P-Systems* zu konstituieren, auf dessen Grundlage zukünftiges Handeln ausgerichtet wird.
- Dieser Sinn kann und soll nicht allein durch den Bezug auf geltende Rechtssetzung hergestellt werden, sondern bedarf des Diskurses und einer breiten gesellschaftlichen Akzeptanz im Sinne der Diskursethik.
- Dabei kann der Multihandlungshorizont nur aufgelöst werden durch ein von partikulären Interessen entkoppeltes Zielsystem.
- Ein von sektoralen Interessen entkoppeltes Ziel auf der Grundlage des kategorischen Imperativs, wird auf den Erfolg hin untersucht werden können und unterstützt damit die Planenden, welche zukünftiges Handeln als „one-shot-operation“



vor dem Hintergrund der Verantwortung für die Zukunft des Systems *SuL* in der Transformation gedanklich vorwegnehmen.

- Daraus erwächst eine Verantwortung für jenen Personenkreis, welcher den Entscheider:innen die für die Entscheidung notwendigen Informationen zur voraussichtlichen Erfüllung dieses Ziels zukommen lassen – den Systemarchitekt:innen.

Die vorgenannten Argumente definieren die in der Fragestellung gesuchten Bedingungen für die Bestimmung des Erfolgs der Transformation des Systems *SuL* im Zuge der Realisierung von Großprojekten der Infrastruktur.

**Fragestellung:**

Wie lässt sich der Erfolg der Transformation des Systems *SuL* im Zuge der Realisierung von Großprojekten der Infrastruktur bestimmen?

**Der Systemtransformationserfolg setzt sich wiederum zusammen aus dem Systemerfolg und dem Transformationserfolg.**

Wie bereits in Abschnitt 4.2 beschrieben, soll als Gesamtergebnis ein Werkzeug entwickelt werden, mit dessen Hilfe der Erfolg der Transformation des Systems *SuL* im Rahmen naturschutzrelevanter Multistakeholder-Projekte bewertet werden kann.

Die Konzentration auf ein (an dieser Stelle noch nicht näher definiertes) sinnstiftendes übergeordnetes Systemziel auf der Basis des kategorischen Imperativs, entbindet daher nicht von der Notwendigkeit einer Betrachtung weiterer Transformations- und Systemziele. Dazu müssen Wege gefunden werden, um mit der Mehrdimensionalität des Zielsystems umzugehen.

Konzepte der Entscheidungstheorie zum Umgang mit mehreren Zielen

Die Suche nach einer Erfolgsdefinition für die Transformation von SuL sieht sich demnach mit den Schwierigkeiten der vorgenannten Komplexität des Zielsystems und dem Entscheidungsproblem bei Unsicherheit konfrontiert.

Die Entscheidungstheorie beschreibt u.a. die in Tabelle 12 genannten Konzepte für den Umgang mit komplexen Zielsystemen oder bei Unsicherheit.

Tabelle 12: Konzepte zum Umgang mit mehreren Zielen (vgl. ROMMELFANGER & EICKEMEIER 2002, LAUX et al. 2014) +: geeignet, o: neutral oder bedingt geeignet, -: ungeeignet.

Konzept	Erläuterung	SuL	Sicherheit	Risiko	Unsicherheit	mehrere Ziele
Zielunterdrückung	Ziele werden zugunsten eines einzigen Zieles vernachlässigt	-	+	o	o	+
lexikografische Ordnung	Fortführung der Zielunterdrückung, falls diese kein Ergebnis zeigt; anschließend wird das Ziel mit der nächst-	-	+	o	o	+

Konzept	Erläuterung	SuL	Sicherheit	Risiko	Unsicherheit	mehrere Ziele
	höheren Priorität untersucht usw.					
Transformationskonzept	sukzessiver Vergleich und Anpassung	-	+	-	-	o
grafische Entscheidungsmodelle	Darstellung von Indifferenzkurven in einem Koordinatensystem	-	+	o	-	-
Satisfaktion von Anspruchsniveaus	Berücksichtigung von maximalen oder minimalen Werten, welche nicht über- bzw. unterschritten werden dürfen	o	+	o	o	+
Nutzenmaximierung	Darstellung einer Funktion, über welche den Alternativen Nutzwerte zugeordnet	0	+	o	o	+

Konzept	Erläuterung	SuL	Sicherheit	Risiko	Unsicherheit	mehrere Ziele
	werden können					

Die Konzepte wurden hierbei zunächst grundsätzlich überprüft auf eine Eignung bei mehreren Zielen sowie bei verschiedenen Erwartungswerten (Sicherheit, Unsicherheit und Risiko). In der Spalte „SuL“ wurde dargestellt, wie der Verfasser die Eignung für Entscheidungen im Rahmen der Transformation von SuL einschätzt. Die Auswertung zeigt, dass lediglich die Konzepte der Nutzenmaximierung sowie der Satisfaktion von Anspruchsniveaus insgesamt bedingt geeignet scheinen. Dies liegt insbesondere darin begründet, dass nur diese Konzepte einerseits bei komplexen Zielkonzepten geeignet sind und andererseits zumindest nicht ungeeignet sind im Rahmen von Entscheidungen bei Unsicherheit oder Risiko. Gerade das fehlende Wissen von den Umständen führt jedoch dazu, dass rationale Entscheidungen nur schwer getroffen werden können.

### Kritische Betrachtungen der Anwendung entscheidungstheoretischer Konzepte

Im Kontext von SuL wird es, wie mehrfach beschrieben, nicht möglich sein, vollständiges Wissen von den Umständen zu erlangen und daher „gelingt es dem *homo oeconomicus* [nicht], unter den Bedingungen vollständiger Information vollständige Rationalität zu realisieren“ (MAINZER 2008). Dennoch sollte es aus den zuvor genannten Gründen das Ziel sein, das Wissen über die Umstände vor der Entscheidungsfindung zu vergrößern und damit das Maß des Wissens über die Umstände aus dem Bereich der Unsicherheit in Richtung der Sicherheit zu bewegen (Abbildung 26).

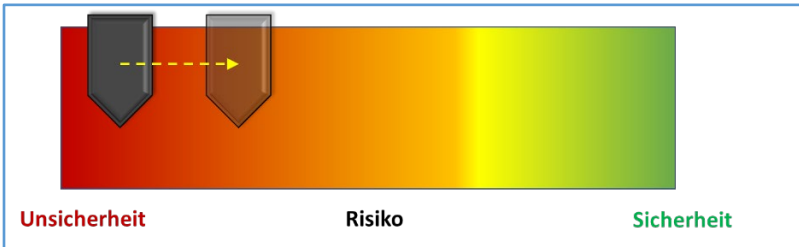


Abbildung 26: Maß des Wissens über die Umstände (eigene Darstellung).

Dem sind jedoch durch den damit verbundenen zeitlichen und finanziellen Aufwand Grenzen gesetzt. RITTEL (2013) weist darauf hin, dass die Lösung eines Problems neue Probleme schafft und damit die Lösung wiederum zur Ursache eines weiteren Problems werden kann, usw. (vgl. Aspekt I in Abschnitt 4.3). Vollständige Rationalität ist zudem nicht erreichbar, da diese in der letzten Konsequenz immer in Spontanurteilen endet und dies substituiert auf einer der Detailebenen stets die Rationalität des Handelns (vgl. RITTEL 2013).

Damit bietet die Entscheidungstheorie als rationales Werkzeug bei sozioökonomischen Problemen wie der Transformation von *SuL* nur bedingte Lösungsmöglichkeiten für komplexe Entscheidungsprobleme. Es ist darüber hinaus zweifelhaft, ob ein starres Vorgehensmodell bei bösartigen, sich in ihrer Vielfalt unterscheidenden Problemen zu guten Lösungen führen kann (vgl. RITTEL 2013).

Dennoch erscheint es plausibel, dass die Entscheidungstheorie in Teilbereichen des Entscheidungsproblems die Lösungsfindung, trotz der grundsätzlich und übergeordnet ablehnenden Argumentation, unterstützen kann. Beispielsweise ist die Satisfaktion von Anspruchsniveaus unabdingbar, gerade vor dem Hintergrund operationalisierter Ziele in Rechtsnormen. Die nicht operationalisierten Ziele verweisen auf Funktionen oder Nutzen, beispielsweise die verkehrlichen Funktionen oder die Erholungsfunktion der Landschaft.

Ableitung eines Vorschlages für die Bestimmung des Erfolgs

Diese Erkenntnisse werden nachstehend in Vorschläge für die Bestimmung des Erfolgs der Transformation von *SuL* im Rahmen von Infrastrukturprojekten überführt. Die Bestimmung des Erfolgs bedarf in diesem Zusammenhang folgender Elemente:

- Der **rechtlich-normative Rahmen** bietet ein System von z.T. operationalisierten Zielen, welche es erforderlich machen, dass die in den einschlägigen Vorschriften benannten Zielgrößen erreicht bzw. unterschritten werden (Zielsatisfaktion).
- Das Risiko eines Downgrading des *SuL*-Systems ist durch das **Erkennen und Vermeiden von Phasenübergängen** zu vermeiden.
- Analog zu den Erkenntnissen der Diskursethik nach Habermas soll das Modell des *SuL*-Systems in Zusammenarbeit mit wesentlichen **Stakeholdern und Träger öffentlicher Belange** entwickelt werden. Dies sollte idealerweise in einer frühen Phase der Planungstätigkeiten geschehen, beispielsweise im Rahmen der Vorplanung.
- Durch die Formulierung einer Maxime im Sinne Immanuel Kants wird einerseits den Planenden und Entscheidenden ein ethisches Prinzip an die Hand gegeben und andererseits ein von sektoralen Interessen entkoppeltes Mussziel als Systemziel festgeschrieben.
- Damit wird gleichzeitig Sinn als Ordnungsprinzip im System P hergestellt.
- Durch **Modellbildung und Simulation** kann der wahrscheinliche Systemzustand im Phasenraum sowie dessen Nähe zu Phasenübergängen ermittelt werden. Daraus wird eine Entscheidung bei Unsicherheit zu einer Entscheidung bei Risiko oder, zumindest theoretisch, zu einer Entscheidung bei Sicherheit.
- Infolgedessen wird eine systemische Abwägung überprüfbar möglich.

- Das Modell sollte alle **Systemdimensionen** enthalten. Dementsprechend reicht die Berücksichtigung der Wirkbeziehungen im Rahmen einer UVS nicht aus, da diese nur einen Teil der relevanten Systemdimensionen einschließen.
- Da mehrdimensionale Ziele nur schwierig gegeneinander abgewogen werden können, muss, wie bereits in Abschnitt 3.8.3 vorgeschlagen, mit der **Stabilität des SuL-Systems** das von partikularen Interessen entkoppelte, ggf. den anderen übergeordnete Systemziel eingeführt werden. Somit bekommen auch die Ziele der Nachhaltigkeit in der Modellbildung und Simulation eine hervorgehobene Bedeutung, da deren Pfeiler *Ökologie*, *Soziologie* und *Ökonomie* durch Berücksichtigung der Systemdimensionen im Modell abgebildet werden und die Vermeidung von Phasenübergängen deren tragende Funktion unterstützen.
- Die Auswirkungen und Risiken von Phasenübergängen können aufgrund der unvollständigen Informationen nicht abgeschätzt werden. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass diese negativen Folgen für das System und damit für die Menschen im System haben können. **Es ist folglich zu empfehlen, Phasenübergänge aufgrund der Unsicherheit zu vermeiden.**
- Damit wird trotz unvollständigem Wissen das ethische Grundprinzip unterstützt, nach welchem wir ein gutes und glückliches Leben anstreben, indem wir durch die Stabilität des Systems die Grundlagen und Ressourcen des guten Lebens erhalten. Dies funktioniert unabhängig von anthropozentrisch-utilitaristischen oder holistischen Ansichten, welche der Natur Rechte um ihrer selbst willen zugestehen, da beide ein stabiles System nicht negieren.
- Für die Überprüfung der Stabilität des Systems wird eine **Sensitivitätsanalyse** auf der Grundlage des Modells durchgeführt, mit dem Ziel, rechtzeitig die Instabilitätspunkte und Phasenübergänge zu erkennen. Dabei müssen wir aber auch die

Grenzen des Machbaren erkennen, denn bei nichtlinear dynamisch komplexen Systemen „[können] wir Prozesse nicht in allen Details zentral steuern [...]. Wir müssen vielmehr rechtzeitig die Instabilitätspunkte und möglichen Ordnungspareparameter erkennen“ (MAINZER 2008).

- Biotische Schlüsselarten (*keystone species*) müssen ebenso erkannt werden wie technische, soziale und abiotische **Schlüssellentitäten**, welche für die Systemstabilität relevant sind.
- Die **formale Rationalität** der Entscheidung kann auf der Grundlage eines vereinfachten Zielsystems hergestellt werden.

### Modell zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs

Der voraussichtliche Erfolg als das Resultat zukünftigen Handelns – und damit des Planens – soll anhand des in Abbildung 27 gezeigten Modells zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs überprüft werden.

Die Grundlage des Modells bildet dabei der in Abbildung 17 dargestellte Zusammenhang zwischen den Zielen und dem Erfolg des Systems *SuL* mit seiner Zweiteilung in die Elemente Transformations- und Systemerfolg.

Das Modell zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs ist in Abbildung 27 dargestellt.

1. Aus systemischer Sicht bildet der Transformationserfolg die **Effizienz des Prozesses** der Transformation, der Systemerfolg das Erreichen des **Zwecks des Systems *SuL*** ab. Das System *SuL* wird ausgehend von einem Basismodell und im



Diskurs mit wesentlichen Akteur:innen und der/dem Systemarchitekt:in zu einem vorhabens- und umweltspezifischen Modell einschließlich Zielmodell von *SuL* in den frühen Projektphasen weiterentwickelt, beispielsweise im Rahmen der Prüfung der Umweltverträglichkeit.

2. Das Zielsystem wird durch den rechtlich-normativen Rahmen sowie ggf. ergänzenden sektoraler Zielen gebildet und besteht aus dem Mussziel der Systemstabilität sowie den operationalisierten Systemzielen als Mussziele mit zu erreichenden Satisfaktionsniveaus.
3. Auf dieser Grundlage wird das Systemmodell qualitativ untersucht und relevante Teilbereiche simuliert, um im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse den Erfolg ( $E_{SMP}$ ) des primären Muss-Systemziels ( $Z_{SMP}$ ) „Stabilität des Systems *SuL*“ abzuschätzen. Gleichzeitig werden die Mussziele mit Satisfaktionsniveaus ( $Z_{SM}$ ) des Systems ebenso wie die Transformationsziele ( $Z_{TK}$  bzw.  $Z_{TM}$ ) auf deren Zielerreichung überprüft.
4. Die/der Systemarchitekt:in bewertet anhand der Ergebnisse den voraussichtlichen Systemtransformationserfolg und
5. übermittelt die Ergebnisse dem Expert:innenteam zur Diskussion und weiteren Bewertung und ggf. zu einem erneuten Durchlaufen der Schritte eins bis fünf.

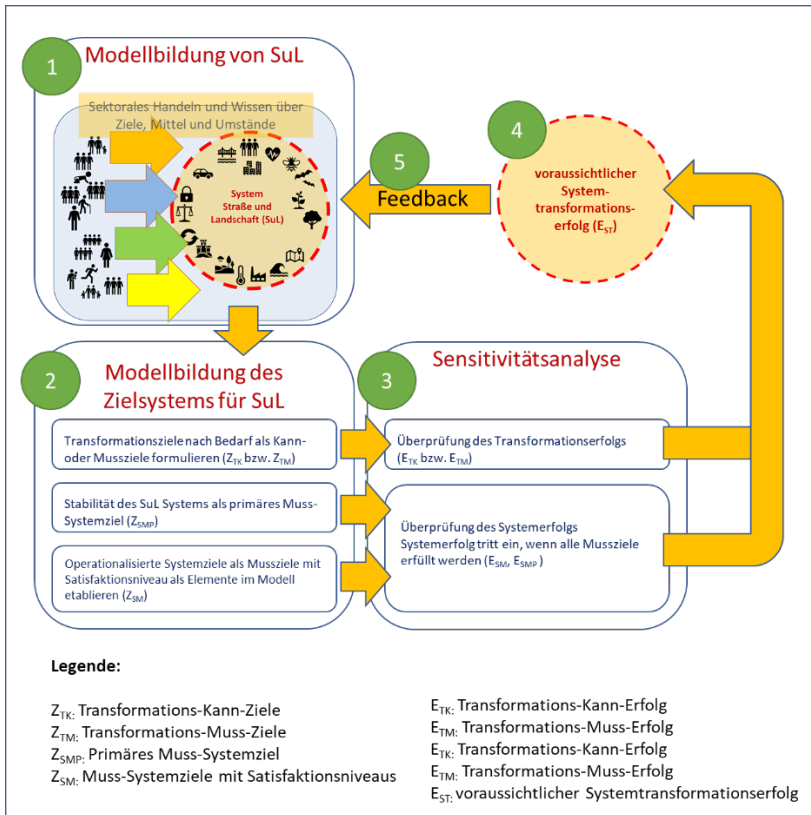


Abbildung 27: Modell zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs (eigene Darstellung).

Solange im dynamisch komplexen System  $SuLT$  verschiedene Akteur:innen ein jeweils unterschiedliches Problemverständnis entwickeln, daraus voneinander abweichende Ziele und Mittel auswählen und gleichzeitig die Folgen des Handelns wegen fehlender Informationen nicht oder nur mit großem Aufwand abschätzen können, ist der Erfolg der Systemtransformation nicht messbar. **Dieser Konflikt wird aufgelöst, indem die Akteur:innen die Stabilität des Systems als Maxime im Sinne des kategorischen Imperativs nach Immanuel**

**Kant anerkennen. Diesem Ziel muss Vorrang vor sektoralen Zielen eingeräumt werden.**

Wird dies bejaht und als Sinn im *P-System* konstituiert, dann kann das Modell eine Hilfestellung bieten, um das Maß der Unsicherheit bei Entscheidungen zu minimieren und Abwägungsfehler zu vermeiden. Gleichzeitig bietet es die Möglichkeit, die Folgen des Handelns abzuschätzen und in einem Diskurs zu verarbeiten. Dies kann beispielsweise im Rahmen einer Gruppendiskussion oder einer Delphi-Studie erfolgen.

**Zusammenfassung:**

Bei der Transformation von Straße und Landschaft im Rahmen von Infrastrukturvorhaben handelt sich um ein sozioökonomisches „böses“ Problem im Kontext von dynamischer Komplexität bei gleichzeitig geringem Wissen über die Umstände und die Folgen des Handelns.

Das Modell bietet die Möglichkeit, auf der Grundlage eines Systemmodells, welches gemeinsam mit wesentlichen Akteur:innen in einer frühen Phase der Planung entwickelt wird, die Sensitivität des Systems zu überprüfen und damit Bifurkationsstellen und Attraktoren zu identifizieren. Die Stabilität des Systems nimmt als Sinn des sozialen Systems und als *Maxime* im Sinne Kants eine hervorgehobene Stellung ein. Das Ziel der Systemstabilität bedarf jedoch einer Konkretisierung.

## 4.11 Stabilität als Mussziel des Systems Straße und Landschaft

In Abschnitt 3.8 wird ein möglicher Weg zum Umgang mit der Komplexität naturschutzrelevanter Großprojekte der Infrastruktur beschrieben, welcher u.a. vorsieht, für die Bemessung des Erfolgs der Transformation von *SuL* ein Werkzeug zu entwickeln. In Abschnitt 4.10 wird empfohlen, mit der Stabilität des Systems *SuL* ein Mussziel einzuführen und dieses zu operationalisieren. Der Gegenstand, auf welchen sich diese Stabilitätsbedingung bezieht, das System *SuL*, besteht wiederum aus technischen, sozialen, abiotischen und biotischen Systemdimensionen (vgl. Abschnitt 3.3).

RAMMLER (2015) verweist auf die „Frage nach dem sozialen Zusammenhalt und den Stabilitätsbedingungen einer zunehmend hochmobilen und flexiblen Gesellschaft“ (RAMMLER 2015). Dabei hat er neben dem sozialen Gesellschaftssystem auch dessen Mobilität im Blick. Zu deren Zukunft führt er u.a. aus, dass sie „robust sein [solle] gegenüber natürlichen Stressfaktoren [...sowie] menschlichem und technologischem Versagen in komplexen Systemen“ (RAMMLER 2015). Er kritisiert ferner das Missverhältnis zwischen dem schlechten Zustand der Infrastrukturen einerseits und der angespannten Haushaltslage der öffentlichen Hand andererseits und verweist auf die Fragilität verschiedener Versorgungssysteme bei gleichzeitig steigendem Nutzungsdruck (vgl. RAMMLER 2015).

### Stabilität in Systemen

Man kann stabile und instabile dynamische Systeme unterscheiden. Stabile Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie nach einer Störung, ggf. nach einer Phase des Überschwingens oder Oszillierens, in ihren Anfangszustand zurückkehren. Das Wirtschaftssystem zeigt beispielsweise ein solches Verhalten (vgl. FORRESTER 2013).

Abbildung 28 illustriert mögliche Stabilitätszustände von Systemen. Labile Systeme geraten durch bereits geringe Störungen aus dem Gleichgewicht, stabile Systeme kehren nach der Störung in den Ausgangszustand zurück. Denkbar ist auch ein indifferentes System, welches seinen Zustand ändert, ohne durch einen Attraktor angezogen zu werden (vgl. FORD 2010).

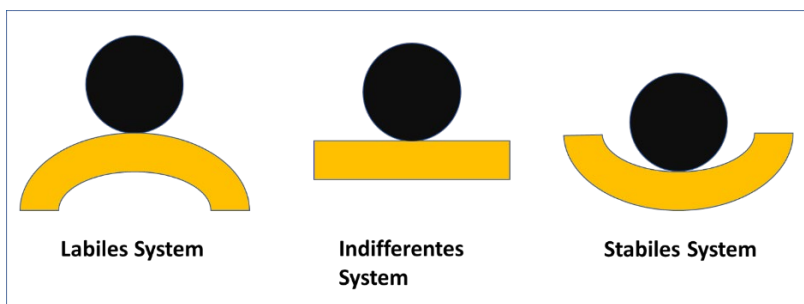


Abbildung 28: Stabilitätszustände von Systemen (eigene Darstellung nach FORD (2010)).

## Eigenschaften stabiler Systeme

MEADOWS & WRIGHT (2011) betonen, dass sich gut funktionierende ökologische, soziale oder technische Systeme durch mindestens eines der drei folgenden Charakteristika auszeichnen: Resilienz, Selbstorganisation und/oder Hierarchie.

Die Systemtheorie kann einen Rat hinsichtlich der Feststellung der Stabilität eines Systems erteilen. Ein stabiles System liegt demnach vor, wenn sich dessen Zustand u.a. durch einen **Fixpunkt-Attraktor** (in linearen Systemen) oder einen **Grenzyklus** (in nicht linearen Systemen) im Phasenraum beschreiben lässt (vgl. MAINZER 2008, MEADOWS & WRIGHT 2011). Ein **Phasenraum** bezeichnet die „Zustandskoordinaten eines [...] dynamischen Systems“ (MAINZER 2008), beispielsweise könnte darin der Zustand des Teilsystems „Straße“

durch die tägliche Verkehrsstärke (DTV) mathematisch dargestellt werden (Abbildung 29).

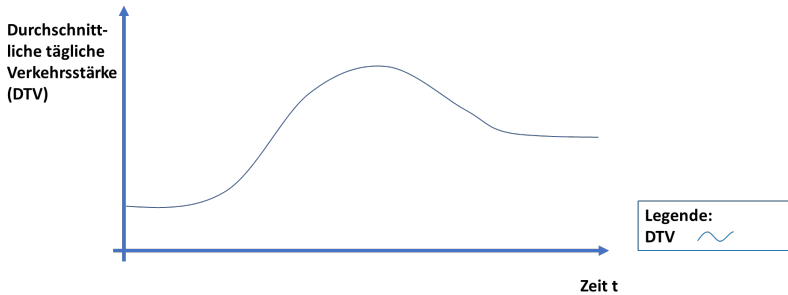


Abbildung 29: Zeitreihe und Phasenraum des Teilsystems Straße (eigene Darstellung).

Ein Attraktor kann als ein „Zustand [beschrieben werden], in den ein [...] dynamisches System langfristig hineingezogen wird“ (MAINZER 2008). Beispielhaft sei der Grenzzyklus in einer Räuber-Beute-Beziehung genannt (vgl. Abbildung 31): Der Zusammenhang zwischen Räuber und Beute kann in einer Zeitreihe einerseits als zyklischer Ablauf visualisiert werden. Es ist zu erkennen, dass ein Anstieg der Beutepopulation mit einigem Zeitverzug zu einem Anstieg der Räuberpopulation führt. Dadurch sinkt die Population der Beute und in der Folge die Population der Räuber, usw. (Abbildung 30).

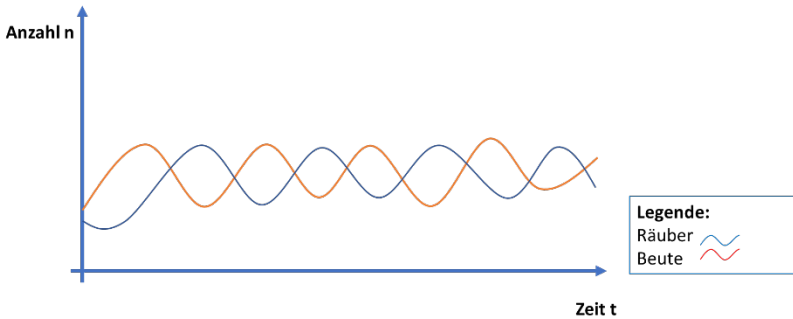


Abbildung 30: Zweidimensionale Darstellung einer Räuber-Beute-Beziehung mit drei Variablen (eigene Darstellung).

Andererseits kann dieser Zusammenhang auch zweidimensional im Phasenraum mit den beiden Variablen „Räuber“ und „Beute“ visualisiert werden (vgl. Abbildung 31). In dieser schematischen Darstellung zeigt sich, dass unterschiedliche Startwerte von Räuber- und Beutepopulationen im Verlauf der Zeit im Phasenraum in einer kreisförmigen Bahn enden. Es handelt sich um einen Grenzzyklus als Attraktor eines nichtlinearen Systems.

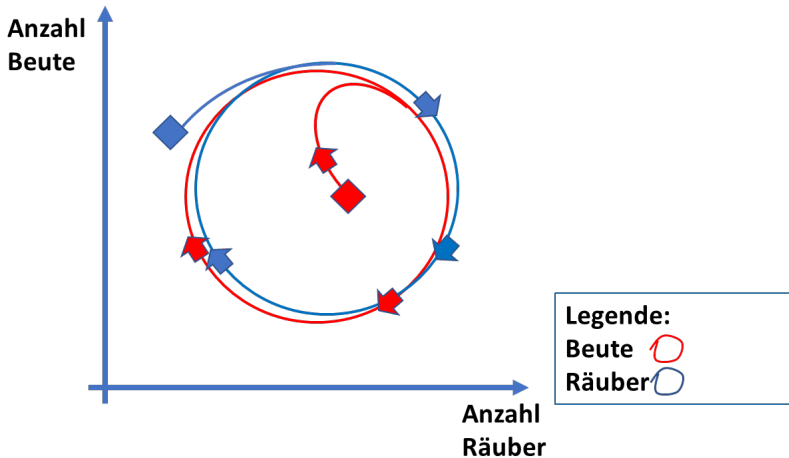


Abbildung 31: Grenzyklus als zweidimensionale Darstellung in einer Räuber-Beute-Beziehung mit zwei Variablen (eigene Darstellung nach (BRIGGS & PEAT 1995)).

Viele Systeme streben bei Störungen einen solchen Zustand an. Dies gilt für technische Systeme ebenso wie für biotische Systeme oder Gesellschaften (vgl. KRIEGER 1998). Diese Systeme werden als **homöostatische Systeme** bezeichnet. Dieser Begriff geht auf den US-amerikanischen Arzt CANNON (1967) zurück, welcher ihn in “The Wisdom of the Body” einführte:

*The constant conditions which are maintained in the body might be termed equilibria. That word, however, has come to have fairly exact meaning as applied to relatively simple physico-chemical states, in closed systems, where known forces are balanced. The coordinated physiological processes which maintain most of the steady states in the organism are so complex and so peculiar to living beings – involving, as they may, the brain and nerves, the heart, lungs, kidneys and spleen, all working cooperatively – that I have suggested a special designation for these states, homeostasis. The word*



*does not imply something set and immobile, a stagnation. It means a condition – a condition which may vary, but which is relatively constant (CANNON 1967).*

Der Mediziner empfiehlt, das Konzept der Homöostase auf dessen Anwendung über seine Profession hinaus zu prüfen: „Might it not be useful to examine other forms of organization-industrial, domestic or social-in light of the organization of the body?“ (CANNON 1967).

Homöostatische Systeme besitzen einen Bereich, in welchem sie stabiles Verhalten zeigen, die „Span of Control“ (Abbildung 32).

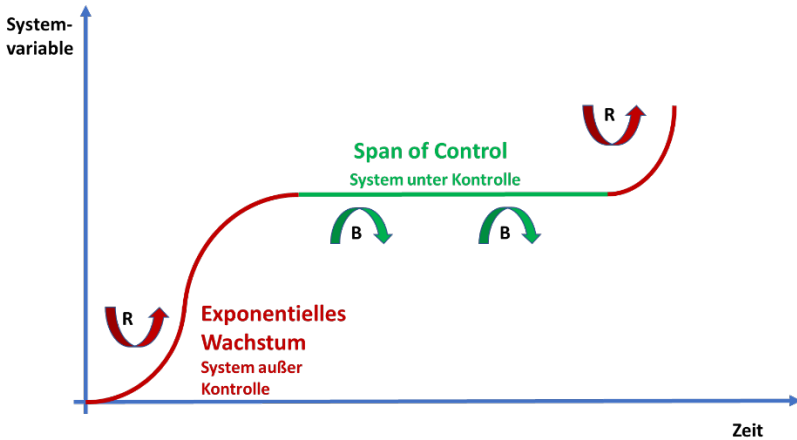


Abbildung 32: Span of Control R bezeichnet positive, also verstärkende Rückkopplungen, B bezeichnet negative, also puffernde Rückkopplungen (eigene Darstellung nach FORD (2010)).

## Stabilität des Systems Straße und Landschaft in der Transformation

Aufgrund des unsicheren Wissens über die Umstände sowie die Auswirkungen der Handlungen bei der Realisierung von Infrastrukturprojekten sollten Planer:innen zur Vermeidung unabwägbarer Risiken bestrebt sein, den Systemzustand stabil zu halten.

Die Transformation des Systems *SuL* ist ein bösartiges soziökonomisches Problem. Die Berücksichtigung von technischen, biotischen und abiotischen Systemdimensionen vervielfacht die Komplexität. Durch diese Mehrdimensionalität des Systems sowie die Vielzahl der Entitäten im System, stellt der Systemzustand einen komplexen Vektor aus unterschiedlichen Systemgrößen dar. FORD (2010) beschreibt in seinen Ausführungen, dass das menschliche Gehirn nicht in der Lage ist, das Verhalten sozialer Systeme, welche nichtlinear sind und aus vielen Rückkopplungen bestehen, zu verstehen.

Daraus lässt sich erstens folgern, dass die Komplexität durch Konzentration auf wenige, aber wesentliche Systemgrößen reduziert werden muss (vgl. VESTER 2015). Zweitens bietet es sich an, die Modellbildung und -analyse des Systems softwareunterstützt durchzuführen und damit das Primärziel „Stabilität des Systems“ zu überprüfen.

Die Abbildung 33 zeigt die Überprüfung der Systemstabilität am Beispiel einer Zustandsgröße, beispielsweise dem lokalen Grundwasserstand. Die **Eingangs-Flussgröße** steht für die Grundwasserzuflüsse durch Versickerung. Die **Ausgangs-Flussgröße** steht für die Abflüsse (Durchfluss). Mittels der **störenden Flussgröße** kann beispielsweise überprüft werden, welchen Einfluss eine temporäre Baugrube mit offener Wasserhaltung auf die Zustandsgröße ausübt.

## Überprüfung der Systemstabilität

FORD (2010) beschreibt die Methode zur Überprüfung der Systemstabilität wie folgt: „A simple test for stability is [...] to introduce a change in the system and watch the system react. If it returns to its original position, we know the equilibrium is stable (Abbildung 33).

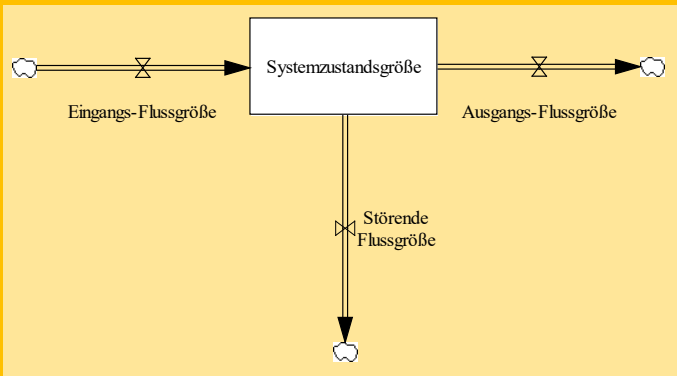


Abbildung 33: Störende Flussgröße als Stabilitätsprüfung von

Die **störende Flussgröße** steht stellvertretend für mögliche Änderungen von Parametern. Sobald deren Ausprägungen dazu führen, dass das System einen neuen Systemzustand einnimmt, wird eine Bifurkationsstelle identifiziert. In der Folge ist zu bewerten, inwiefern die Störungen einem realistischen Bereich angehören. Es ist jedoch anzumerken, dass die Störungen ebenso wie die Systemvariablen nur Teile eines Modells des Systems *SuL* darstellen und eben nicht Straße und Landschaft **sind**. Damit ist nicht **die** Stabilität des Systems bestimmt, doch dient die Sensitivitätsanalyse der Abschätzung möglicher Auswirkungen veränderter Parameter.

## Zusammenfassung

Attraktoren sind Systemzustände, in welche Systeme „hineingezogen“ werden. Wegen des unsicheren Wissens ist es wichtig, Bifurkationsstellen und damit die Übergänge zu neuen Attraktoren zu erkennen und einzuschätzen. Attraktoren können beispielsweise Termin- und Budgetüberschreitungen in Projekten oder Grenzyklus in der Räuber-Beute-Beziehung sein.

Durch die Berücksichtigung störender Flussgrößen im System kann dessen homöostatisches Plateau (*Span of Control*) und damit die Stabilität des Systems im Modell ermittelt werden. Die Stabilität des tatsächlichen Systems ist damit nicht determiniert. Dennoch können Aussagen über die tendenzielle Stabilität des Systems sowie auf mögliche Auswirkungen veränderter Parameter getroffen werden

## 4.12 Zwischenfazit für die Praxis und Ausblick

### Rückblick

Die vorliegende Arbeit geht der zentralen Frage nach, wie der Erfolg einer Transformation bestimmt werden kann. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass ein Zusammenhang zwischen der Stabilität des Systems als unabhängiger Variable und dem Erfolg als abhängiger Variable bestehe, so dass mit steigender Stabilität des Systems auch der Erfolg der Maßnahme wachse.

Die vorstehenden Ausführungen stützen die Hypothese zwar dergestalt, dass auch hier von einem Zusammenhang zwischen Erfolg und der Stabilität des Systems ausgegangen wird. Allerdings wird dies nicht empirisch ermittelt, sondern verbal-argumentativ aus einer theo-

riebasierten Exploration abgeleitet und die Stabilität als ein **Bewertungsinstrument** für den Erfolg herausgearbeitet. Eine Überprüfung der Hypothese über den Zusammenhang zwischen der Systemstabilität und dem Erfolg würde damit auch mittels der Systemstabilität als Messinstrument erfolgen – eine paradoxe Situation.

Zusätzlich erschwert die Komplexität als intervenierende Variable die Überprüfung der Hypothese, da Komplexität nach HABERFELLNER (2012) durch das Zusammenspiel aus Dynamik und Vielfalt gekennzeichnet ist. Die Vielfalt liegt auch systemimmanent im Projektbegriff durch die Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit – jedes Vorhaben ist anders. Damit lässt sich die Hypothese kaum oder gar nicht überprüfen. Infrastrukturprojekte sind, wie zuvor beschrieben, bösartige Probleme. RITTEL (2013) bemerkt, dass die Lösung eines bösartigen Problems auch davon bestimmt ist, wie das Problem erklärt wird. Er beschreibt, dass die möglichen Beweisführungen außerhalb derer liegen, welche „im wissenschaftlichen Diskurs zulässig sind“ ((RITTEL 2013), Aspekt J). Daraus lässt sich folgern, dass im komplexen Zusammenhang von Infrastrukturprojekten die Vorgehensweise, Hypothesen aufzustellen und zu überprüfen, nicht zielführend ist.

## Ergebnisse

Auch wenn sich die Hypothese einer Überprüfung entzieht, wurden dennoch wichtige Erkenntnisse über die **Bedingungen für die Ermittlung des Erfolges** der Transformation von *SuL* gewonnen und diese in ein Modell zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs überführt.

Das Kernelement des Modells bildet die **von sektoralen Interessen entkoppelte Maxime der Stabilität des Systems SuL** im Sinne Immanuel Kants. Damit wird in dem mit dem dynamisch komplexen Multistakeholder-System strukturell gekoppelten *P-System* ein übergeordneter Sinn auf der Grundlage systemischen Denkens konstituiert. Basierend auf diesem Ordnungsprinzip des sozialen Systems der Akteur:innen können diese, unterstützt durch die/den Systemarchitekt:in,

an der Entwicklung des Systemmodells und der Bewertung der Analyseergebnisse mitwirken und damit **Partizipation** auf einer systemischen Ebene realisieren. Somit wird auch einer möglichen Kritik an der Partizipation entgegengewirkt, wonach jene nur der nachträglichen Verschaffung der Akzeptanz einer bereits feststehenden Problemlösung diene (vgl. MÜLLER 2017).

Die Maxime darf jedoch nicht mit einem alles übergeordneten Oberziel gleichgesetzt werden. In Abschnitt 4.9 wurde bereits ausgeführt, dass wir ein gutes und glückliches Leben anstreben. Entsprechend dem in Abschnitt 4.5 bereits erwähnten Ziel-Mittel-Zusammenhangs kann die Systemstabilität als ein **mögliches** Mittel angesehen werden um dieses Ziel zu erreichen.

#### Ausblick – was sind die nächsten Schritte?

Eine Etablierung des Modells des Systemtransformationserfolgs bedarf weiterer Forschung, mit dem Ziel einer Anpassung der Prozesse im *P-System*. Dementsprechend sind für Schritt 1 sowohl der Rahmen als auch der Umfang der Modellbildung gemeinsam mit den Akteur:innen zu präzisieren. Dies könnte in der Praxis jedoch bereits innerhalb des rechtlichen Rahmens im Zuge der Vorbereitung des Raumordnungsverfahrens geschehen. Dazu bedarf es zunächst einer Reduzierung der Komplexität, indem das System *SuL* in wesentliche, für die Modellbildung und Analyse relevante Entitäten dekomponiert wird. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass durch die Berücksichtigung der Wechselwirkungen im UVPG zwar eine systemische Denkweise gesetzlich verankert wurde, jedoch Entitäten im Bereich sozialer und technischer Systemdimensionen darin eher unterrepräsentiert sind. Daraus lässt sich für die Dekomposition ein Forschungsbedarf ableiten, um diese Entitäten bei der späteren Modellbildung und Simulation nicht zu vernachlässigen.

Ebenso ist zu klären, mit welchem Modellierungswerkzeug die Schritte 2 bis 4 durchgeführt werden können. Insbesondere die Prozessschritte bis zur Bestimmung der Linie sollten in den Fokus einer Prozessanalyse gerückt werden.

Ferner sollte überprüft werden, ob die Maxime der Stabilität des Systems *SuL* tatsächlich das Ordnungsprinzip des sozialen Systems der Planenden und der Gesellschaft darstellen und durch diese akzeptiert wird.

## Vision

Die Zusammenführung des Wissens der Akteur:innen auf der Systemebene und die daran anschließende Sensitivitätsanalyse kann helfen, die Unsicherheiten in den Entscheidungsprozessen zu reduzieren und das Risiko von Abwägungsfehlern in der Praxis zu vermindern. Dies könnte die schwierige Berücksichtigung des Schutzgutes „Wechselwirkungen“ nach § 2 UVPG erleichtern und die Akteur:innen dabei unterstützen, den Erfolg von Vorhaben der Infrastruktur in der Zukunft zu optimieren. Eine über die Schutzgüter hinausgehende Berücksichtigung technischer und sozialer Entitäten könnte die von KÖPPEL et al. (2007) identifizierte „ökosystemare Betrachtungsweise“ des UVPG zu einer **systemdimensionsübergreifenden Betrachtungsweise** von *SuL* erweitern.

# 5 Paper 3: Dekomposition und Analyse des Systems Straße Landschaft in der Transformation

Dieses Kapitel ist für eine spätere Veröffentlichung vorgesehen.

## 5.1 Einleitung

Im Rahmen der Planung von Infrastrukturprojekten werden die Akteur:innen mit einer enormen Komplexität der Planungsprozesse und des Planungsgegenstands konfrontiert (vgl. Abschnitt 3.3). Systeme sind komplex, wenn sie aus vielen miteinander in Wechselwirkung stehenden Entitäten mit einem hohen Vernetzungsgrad bestehen (CRAWLEY et al. 2016).

Ein Mittel zum Umgang mit dieser Komplexität ist die Reduktion durch „die Zerlegung eines komplexen Problems in Teilprobleme“ (ZIMMERMANN 2008), welche einzeln gelöst werden können (vgl. ZIMMERMANN 2008, CRAWLEY et al. 2016, SCHNEEWEIß 1992, GOLL 2018).

In Abschnitt 3.8.2 wird ein Perspektivwechsel in der Planungspraxis vorgeschlagen. Insbesondere sollen Straße und Landschaft (*SuL*) als **ein System** betrachtet werden, welches sich aus technischen, abiotischen, biotischen und sozialen Systemdimensionen konstituiert. Sie analysieren deren Unterschiede und unterstreichen die Notwendigkeit, bei der Lösung der Teilaufgaben nach der **Dekomposition** die Schnittstellen zu beachten, um später bei der Umkehrung der Dekomposition, der **Rekomposition**, die Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen im Gesamtsystem berücksichtigen zu können. Es wird darauf hingewiesen, dass sich dieses System aufgrund der Planung einer Infrastrukturmaßnahme in einer Transformationsphase befindet und damit zum System *SuL* in der Transformation wird. Das ursprüngliche System wird *System SuL 0* benannt, welches durch ein System



von Akteur:innen und den Prozessen, dem *System P*, im Rahmen der Planung und Ausführung transformiert wird, zu einem *System SuL 1*, in welches die neue Straße integriert wurde (Abbildung 34).

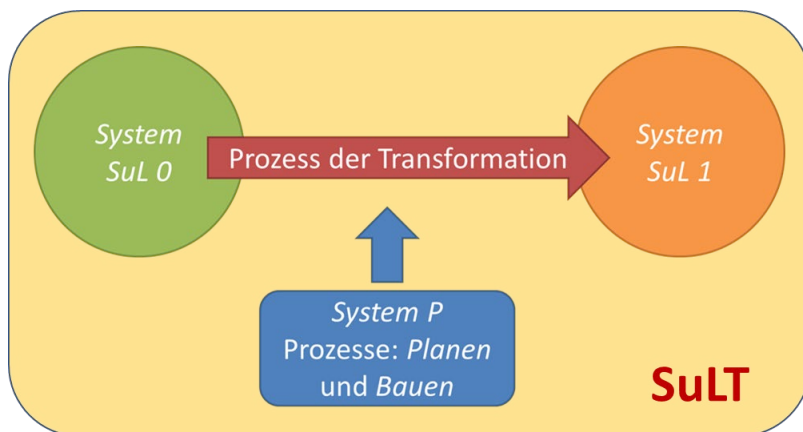


Abbildung 34: Das System Straße und Landschaft in der Transformation (SuLT) mit seinen Subsystemen (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020).

Ferner wird festgestellt, dass es sich bei *SuL* aufgrund der stetig verändernden Randbedingungen sowie des Transformationsprozesses um ein **dynamisch komplexes System** handelt. Daraus folgt, dass der Fokus weiterer Betrachtungen auch auf mögliche **Veränderungen von Systemvariablen im zeitlichen Verlauf** gelegt werden muss. Ein *SuL*-System, welches sich in dieser Prozessphase befindet, wird in den folgenden Ausführungen als **System Straße und Landschaft in der Transformation (SuLT)** bezeichnet.

Der vorliegende Text greift das Konzept des Perspektivenwechsels auf und legt dar, wie das komplexe System *SuLT* dekomponiert werden kann, um das Problem der Transformation von *SuL* im Rahmen von naturschutzrelevanten Verkehrsinfrastrukturprojekten lösen zu können. Dabei wird das System *SuLT* mit seinen Komponenten *SuL*

0 und *SuL 1* sowie dem *System P* betrachtet, welches die Transformation gestaltet und durchführt.

Der in Abschnitt 3.8.2 beschriebene Lösungsansatz setzt sich aus den in Abbildung 35 gezeigten Elementen zusammen. Ziel der Dekomposition muss es demnach sein, die Bestandteile des Systems *SuL* einzeln zu analysieren. In einem weiteren Schritt können Teilsysteme in ein dynamisches Modell überführt und simuliert werden, um mögliche Auswirkung von Wechselwirkungen im System zu erforschen.

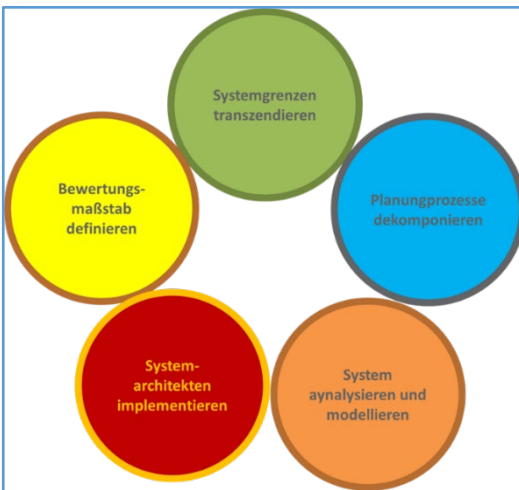


Abbildung 35: Elemente des Lösungsansatzes (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020).

Das Konzept des Perspektivenwechsels verfolgt u.a. das Ziel, den Erfolg der Transformation von *SuL* im Rahmen von Infrastrukturprojekten zu steigern. Dies soll wegen der strukturellen

Kopplung zwischen den Systemen *SuL* und *P* mittels einer Optimierung von Planungsprozessen geschehen. Dazu sollen die Entitäten identifiziert werden, aus welchen die beiden gekoppelten Systeme bestehen, um die Systeme zum Zweck einer tiefergehenden Analyse dekomponieren zu können.

Aufgrund der zuvor beschriebenen Komplexität des Forschungsgegenstands wird das System auf Schwachstellen im Transformationsprozess und dem *P-System* untersucht, um Teilbereiche zu identifizieren, welche im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten optimiert werden können. Es wird das Ziel verfolgt, den Erfolg der Transformation

und damit des Planungsergebnisses insgesamt in Bezug auf eine bessere Berücksichtigung der verschiedenen Akteur:inneninteressen zu steigern, z.B. der naturschutzfachlichen Belange.

## 5.2 Fragestellung, Material und Methode

### 5.2.1 Fragestellung

Der in Abschnitt 5.1 erwähnte Wunsch nach Optimierung des Erfolgs der Transformation von *SuL* im Rahmen naturschutzrelevanter Verkehrsinfrastrukturprojekte, greift die Arbeitshypothese aus Abschnitt 3 auf, wonach ein Zusammenhang bestehen soll zwischen der Qualität der Dekomposition (unabhängige Variable) und dem Erfolg (abhängige Variable). Die Komplexität bildet dabei die intervenierende Variable (Abbildung 36).

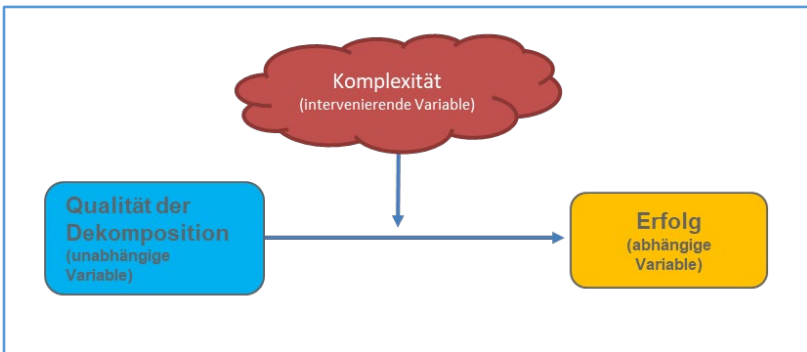


Abbildung 36: Arbeitshypothese (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020).

In Bezug auf die unabhängige Variable *Qualität der Dekomposition* wird in Abschnitt 3 vermutet, dass diese hoch ist, wenn durch sie keine relevanten Informationen verloren gehen. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Schnittstellen der dekomponierten Entitäten untereinander im Zuge der Rekomposition durch Modellbildung und Simulation

bekannt und berücksichtigt werden müssen, um den Erfolg zu optimieren.

In Abschnitt 4 wurde festgestellt, dass beim Diskurs komplexer Infrastrukturprojekte das Aufstellen und Überprüfen von Hypothesen nicht zielführend ist, da

- die intervenierende Variable *Komplexität* als Kombination von Vielfalt und Dynamik eine Überprüfung von einfachen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen erschwert,
- diese Vielfalt systemimmanent im Projektbegriff durch die Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit liegt,
- Infrastrukturprojekte böartige Probleme im Sinne von RITTEL (2013) sind,
- die Lösung eines böartigen Problems nach RITTEL (2013) auch davon bestimmt ist, wie das Problem erklärt wird, wobei die möglichen Beweisführungen außerhalb der Optionen liegen, welche „im wissenschaftlichen Diskurs zulässig sind“ (vgl. Aspekt J in Tabelle 4).

Ferner wird eine Validierung der Hypothese dadurch erschwert, dass die Messung des Erfolgs auch von der Annahme der Maxime der *Stabilität des Systems* durch die Gesellschaft abhängt (vgl. Abschnitt 4). Dies erfordert einen breiten gesellschaftlichen Diskurs, welcher im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt werden kann. Ebenso wird in Abschnitt 4 ein Modell zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs vorgeschlagen. Dessen Erarbeitung setzt jedoch die Modellierung des Zielsystems unter Beteiligung wesentlicher Akteur:innen voraus. Eine Überprüfung der Hypothese erfolgt daher im Rahmen dieser Arbeit nicht.

Im Zusammenhang mit der in Abschnitt 5.1 genannten, zu einem späteren Zeitpunkt beabsichtigten Analyse und Simulation dekomponierter Entitäten, lässt sich zu der Frage überleiten, in welche Entitäten *SuLT* dekomponiert werden kann, um die Komplexität zu reduzieren und eine systemische Untersuchung zu ermöglichen. Das System

*SuLT* ist ein komplexes System und die Dekomposition ist ein wesentliches Werkzeug zum Umgang mit der Komplexität (vgl. Abschnitt 5.1). Daraus folgt die Forschungsfrage:

**Forschungsfrage:**

In welche Entitäten kann *SuLT* dekomponiert werden, um erstens die Komplexität zu reduzieren und zweitens eine systemische Untersuchung zu ermöglichen?

Diese übergeordnete Fragestellung kann wiederum in leichter beantwortbare Teilfragen dekomponiert werden:

- Dazu werden in Abschnitt 5.3 die theoretischen Grundlagen der Dekompositionsmethode erarbeitet. Auf diese Weise wird der Fragestellung nachgegangen, was unter Dekomposition zu verstehen ist.
- In Abschnitt 5.4 wird das System *SuL* in seiner Dynamik betrachtet und der erste Schritt der Dekomposition vollzogen, indem das System *SuLT* in die Teilprobleme **System 0**, **System 1** und die **Transformation durch das System P** zerlegt wird.
- Abschnitt 5.5 widmet sich dem Teilproblem der Transformation durch das System *P* und zerlegt dieses in zahlreiche Planungsprozesse als Untersysteme. Aufgrund der Komplexität dieser Planungsprozesse werden diese auf Schwachstellen hin untersucht, um bei der Suche nach Optimierungsansätzen einen geeigneten Gestaltungs- und Lösungsbereich zu identifizieren.
- Wenn, wie wir noch feststellen werden, den Wechselwirkungen eine besondere Bedeutung im Rahmen der Dekomposition zukommt und die Dekomposition ihrerseits den Erfolg der Transformation beeinflusst, dann lässt sich daraus die Frage

ableiten, inwiefern diese Wechselwirkungen in der Planungspraxis tatsächlich berücksichtigt werden. Dieser Frage wird in Abschnitt 5.6 im Rahmen einer retrospektiven Gesetzesfolgenabschätzung nachgegangen.

- Abschnitt 5.7 soll aufzeigen, wie der Gegenstand der Planungen, das komplexe, aus technischen, biotischen, abiotischen und soziales Systemdimensionen bestehende System *SuL*, dekomponiert werden kann.
- Abschließend fasst der Abschnitt 5.8 die Ergebnisse zusammen.

Die Abbildung 37 illustriert die Struktur der Fragestellungen sowie den Aufbau der nachfolgenden Abschnitte.

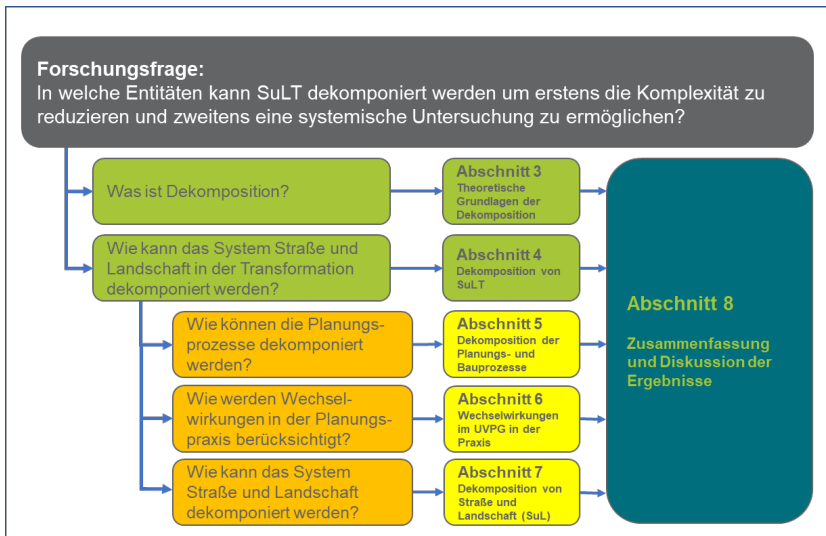


Abbildung 37: Struktur der Fragestellungen (eigene Darstellung).

## 5.2.2 Material und Methode

Zur Beantwortung der Fragestellungen ist es erforderlich, eine **theoriebasierte Exploration** der Dekompositionsmethode und ihrer praktischen Anwendung im Zusammenhang mit Projekten der Verkehrsinfrastruktur durchzuführen. Das System *SuL* soll in einer Anwendung der **Dekompositionsmethode** in seine Entitäten dekomponiert werden, um diese weiter untersuchen zu können.

Ferner muss durch die Analyse der Planungsprozesse deren Komplexität erfasst, sowie deren **Schwachstellen analysiert werden**, um als Ergebnis den Untersuchungs- und Lösungsbereich für eine vertiefende Betrachtung zu bestimmen. Eine für die Gestaltung des Ordnungsprinzips als wesentlich identifizierte Regelung wird im Rahmen **einer retrospektiven Gesetzesfolgenabschätzung** untersucht.

Methodisch wird übergreifend, insbesondere aber für die Dekomposition des Systems *SuL*, auf die **systemtheoretischen Ausführungen** des Abschnittes 3 zurückgegriffen. Hierbei wird insbesondere auf die **Konzepte der Systemdimensionen** sowie der **Systemaspekte** verwiesen. Diese werden dem **medienübergreifenden Ansatz** der Schutzgüter nach § 2 UVPG gegenübergestellt, um die Frage danach zu beantworten, was das System *SuL* ist. Ergänzt wird dies durch den Vergleich mit dem **biokybernetischen Ansatz** von VESTER (2015).

Die Ergebnisse der Dekomposition des Systems *SuLT* werden nach der im **Projektmanagement** etablierten Methode der **Work-Break-down-Structure (WBS)** visualisiert. Die Erkenntnisse der Exploration werden **verbal-argumentativ** in eine übergeordnete WBS des Systems *SuLT* überführt.

Aus den Entitäten des dekomponierten Systems *SuL* soll in einem Folgeschritt ein **qualitatives Modell** entwickelt werden, anhand dessen relevante Bereiche für eine mögliche Entwicklung eines **quantitativen simulationsfähigen Teilmodells** identifiziert werden können. Die Abbildung 38 illustriert die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise:

1. Identifikation des Systems *SuLT*
2. Dekomposition von *SuLT* in seine Entitäten
3. Rekombination durch Modellbildung und Simulation
4. Analyse des Modells und der Simulationsergebnisse
5. Rückspielen notwendiger Änderungen an das *P-System*
6. Änderung von *SuLT* durch das *P-System*

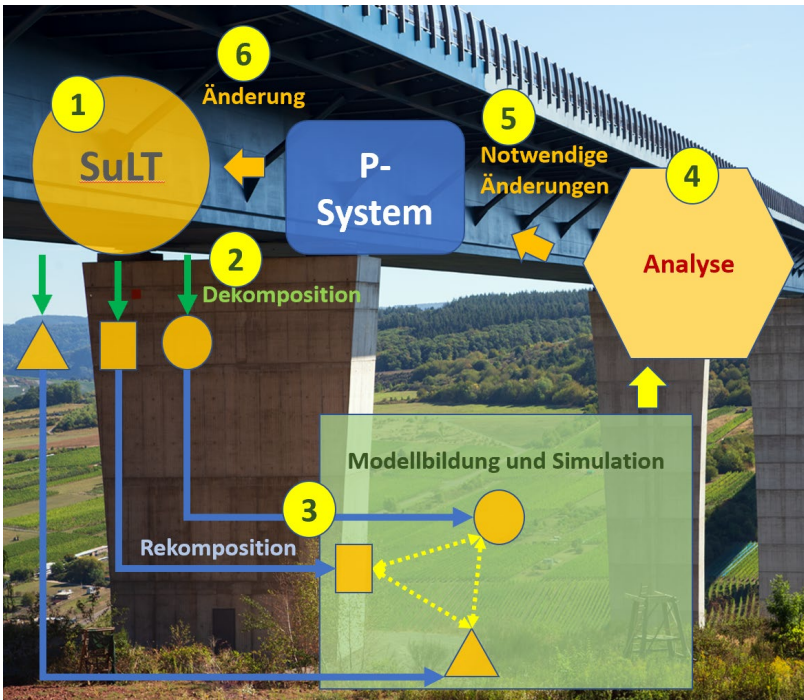


Abbildung 38: Schematische Darstellung der Vorgehensweise (eigene Darstellung).



### 5.3 Theoretische Grundlagen der Dekompositionsmethode

Der wesentliche Gedanke der Dekompositionsmethode kann auf das Prinzip „Teile und Herrsche“, lat. „divide et impera“, zurückgeführt werden (vgl. GOLL 2018, CRAWLEY et al. 2016, MANIEZZO et al. 2021). Damit wird das Ziel verfolgt, die Komplexität zu reduzieren, indem eine Aufgabe in Teilaufgaben aufgelöst wird, welche damit **beherrschbarer** und leichter gelöst werden können (vgl. ZIMMERMANN 2008, CRAWLEY et al. 2016, SCHNEEWEIß 1992, GOLL 2018).

Durch die Unterteilung wird das System in Entitäten gegliedert, welche ihrerseits aus Teilentitäten und deren Wechselwirkungen bestehen.

Nach LUHMANN (2015) definiert sich ein System über seine Abgrenzung zur Umwelt, wobei es „seine Umwelt als verwirrend komplexes Gefüge wechselseitiger System/Umweltbeziehungen“ wahrnimmt. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die Bildung von Teilsystemen Komplexität reduziert und sich die Planenden im *P-System* zunächst auf das Verständnis des reduzierten Teil(systems) konzentrieren können.

Dennoch darf die Umwelt in den Planungsüberlegungen nicht gänzlich vernachlässigt werden, da „Systeme nicht länger substantiell als für sich bestehende Objekte begriffen werden, die in der Welt herum schwimmen wie Fettaugen in der Suppe“ (LUHMANN 2018b). Mithin werden im **Umweltrecht** die **Wechselwirkungen** adressiert. Bildlich gesprochen, werden nicht die einzelnen **Fettaugen**, sondern die **Suppe** betrachtet.

Im Rahmen der Dekomposition von *SuLT* stehen die Akteur:innen demnach vor der Entscheidung, an welchen Stellen des Systems bzw. nach welchen Kriterien konkret die Trennung oder Untergliederung am sinnvollsten erfolgen soll.

### 5.3.1 Trennstellen für die Dekomposition

SULTANOW (2010) beschreibt das Konzept der logischen Dekomposition in der Webentwicklung dergestalt, dass „sich die Trennung der Aufgaben aus der strukturellen Aufteilung des Gesamtsystems (in Teilsysteme) ergibt“ (SULTANOW 2010).

Gerade in komplexen dynamischen Projekten kann man jedoch davon ausgehen, dass sich die Trennstellen nicht zwingend aus einer physischen Struktur ergeben. Dann muss die Festlegung der Abschnitte nach anderen Kriterien erfolgen. Es erscheint **nicht sinnvoll**, Systeme an jenen Stellen zu trennen, an welchen ein **hoher Austausch an Informationen** stattfindet, da gerade diese Interdependenzen das Systemverhalten bestimmen (vgl. MAIER 2009, CRAWLEY et al. 2016). Darüber hinaus sollten auch Grenzziehungen zwischen den Entitäten mit zahlreichen Wechselwirkungen stofflicher oder energetischer Natur vermieden werden (vgl. VESTER 2015, CRAWLEY et al. 2016).

Überdies ist zu beachten, dass das Trennen zwischen Entitäten, welche Funktionen als emergente Eigenschaften schaffen sollen, diese Emergenz gefährden können. Sofern es sich dabei um erwünschte Funktionen bzw. Eigenschaften handelt, sollte dies für die Durchführung der Dekomposition berücksichtigt werden und funktionsbildende Entitäten entsprechend in Subsystemen zusammengefasst werden. Ferner kann es sinnvoll sein, die Trennstellen zwischen verschiedenen Akteur:innen bzw. Akteur:innengruppen festzulegen (vgl. CRAWLEY et al. 2016).

Für die Dekomposition des Systems *SuLT* könnte es hilfreich sein, zu analysieren, nach welchen Kriterien bei Infrastrukturprojekten in der Praxis dekomponiert wird.

### 5.3.2 Anwendungsfelder der Dekomposition bei Infrastrukturvorhaben

In der Praxis findet die Dekomposition im Umfeld von Verkehrsvorhaben auf mehreren Ebenen und Anwendungsfeldern statt. Auf der Metaebene bildet beispielsweise die **Festlegung von Planungs- und Bauabschnitten** bereits eine erste räumliche und zeitliche Dekomposition des Vorhabens. Dies ist erforderlich, da große und komplexe Verkehrsinfrastrukturvorhaben nicht in einem einzigen Genehmigungsverfahren abgewickelt werden können. Hierbei ist zu beachten, dass sich „[e]ine Planung in Teilabschnitten [...] nicht soweit verselbständigen [darf], dass der Zusammenhang der Gesamtplanung verloren geht“ (SPANG 2016). Dies stützt die zuvor beschriebene Notwendigkeit, die emergenten Eigenschaften des Systems bei der Dekomposition zu berücksichtigen und die Planung eben nicht nur auf den einzelnen Teilabschnitt zu reduzieren. Vielmehr soll die Notwendigkeit des Gesamtvorhabens einerseits und die Funktionen der einzelnen Abschnitte andererseits gewährleistet sein (vgl. SPANG 2016).

Auf der Ebene der Planung kann die Dekomposition der Tätigkeiten beispielsweise über die **Gliederung des Planungsprozesses in Leistungsphasen (LPH)** erfolgen. In der Tabelle 13 sind die LPH des Leistungsbilds Ingenieurbauwerke nach § 43 HOAI aufgeführt.

Tabelle 13: Leistungsphasen des Leistungsbilds Ingenieurbauwerke nach § 43 HOAI.

LPH	Beschreibung
1	Grundlagenermittlung
2	Vorplanung
3	Entwurfsplanung
4	Genehmigungsplanung
5	Ausführungsplanung
6	Vorbereitung der Vergabe
7	Mitwirkung bei der Vergabe
8	Bauoberleitung
9	Objektbetreuung

Diese Leistungsphasen werden wiederum in *Grundleistungen* und *Besondere Leistungen* untergliedert. Nach § 3 HOAI sind Grundleistungen definiert als „Leistungen, die regelmäßig im Rahmen von Flächen-, Objekt- oder Fachplanungen auszuführen sind. Sie sind zur ordnungsgemäßen Erfüllung eines Auftrags im Allgemeinen erforderlich und in Leistungsbildern erfasst. Die Leistungsbilder gliedern sich in Leistungsphasen nach den Regelungen in den Teilen 2 bis 4 und der Anlage 1“. Tabelle 14 zeigt exemplarisch die Grundleistungen der LPH 3 im Leistungsbild Ingenieurbauwerke nach § 43 HOAI.

Tabelle 14: Grundleistungen der LPH 3 im Leistungsbild Ingenieurbauwerke nach Anlage 12 und § 43 HOAI.

Gliederungs- punkt	Beschreibung der Grundleistung
<b>a</b>	Erarbeiten des Entwurfs auf Grundlage der Vorplanung durch zeichnerische Darstellung im erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen, Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für die anderen an der Planung fachlich Beteiligten sowie Integration und Koordination der Fachplanungen
<b>b</b>	Erläuterungsbericht unter Verwendung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter
<b>c</b>	fachspezifische Berechnungen, ausgenommen Berechnungen aus anderen Leistungsbildern
<b>d</b>	Ermitteln und Begründen der zuwendungsfähigen Kosten, Mitwirken beim Aufstellen des Finanzierungsplans sowie Vorbereiten der Anträge auf Finanzierung
<b>e</b>	Mitwirken beim Erläutern des vorläufigen Entwurfs gegenüber Dritten an bis zu drei Terminen, Überarbeiten des vorläufigen Entwurfs auf Grund von Bedenken und Anregungen

Gliederungs- punkt	Beschreibung der Grundleistung
<b>f</b>	Vorabstimmen der Genehmigungsfähigkeit mit Behörden und anderen an der Planung fachlich Beteiligten
<b>g</b>	Kostenberechnung einschließlich zugehöriger Mengenermittlung, Vergleich der Kostenberechnung mit der Kostenschätzung
<b>h</b>	Ermitteln der wesentlichen Bauphasen unter Berücksichtigung der Verkehrslenkung und der Aufrechterhaltung des Betriebes während der Bauzeit
<b>i</b>	Bauzeiten- und Kostenplan
<b>j</b>	Zusammenfassen, Erläutern und Dokumentieren

Diese Gliederungspunkte lassen sich – fallbezogen und daher abhängig von den Umständen des konkreten Projektes - weiter untergliedern. LOCHER (2021) subsumiert beispielsweise unter dem Gliederungspunkt *b Erläuterungsbericht unter Verwendung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter* „neben der Erläuternden Darstellung des geplanten Objekts auch die Begründung für die gewählte Lösung“ und ggf. auch „fachspezifische Berechnungen“.

Ein weiterer Anwendungsbereich der Dekompositionsmethode im Rahmen von Infrastrukturprojekten ist die Vorgehensweise bei der **Bemessung und Konstruktion**, beispielsweise bei der Tragwerksplanung einer Auslegerbrücke wie der Forth Bridge in Schottland, Vereinigtes Königreich (Abbildung 39). Bei diesem Brückentypus wird das

Problem der statischen Berechnung in Teilprobleme zerlegt, indem zusätzliche Momentengelenke eingefügt werden und damit aus einem statisch unbestimmten ein statisch bestimmtes System wird.



*Abbildung 39: Fifth of Forth Bridge, Schottland (PIXABAY 08.04.2022).*

Nach dem dritten Newtonschen Axiom bilden die vertikalen Auflagerkräfte des Teilsystems 2 (Actio) jeweils die Lasten der Teilsysteme 1 und 3 (Reactio). Damit lassen sich die Auflagerkräfte der einzelnen Abschnitte berechnen und das komplexe Problem lösen (Abbildung 40).

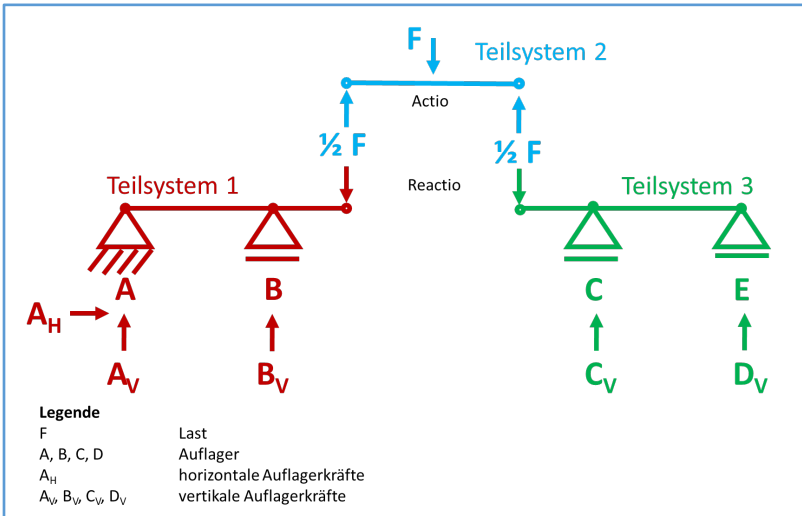


Abbildung 40: Statisches Modell eines Gerberträgers im Brückenbau (eigene Darstellung).

An diesem Beispiel können gleich drei der Prinzipien der Dekompositionsmethode verdeutlicht werden, nach welchen ein System top-down in einzelne Entitäten dekomponiert werden kann, wobei die Wechselwirkungen zwischen den Entitäten (Teilmodellen) beachtet werden müssen, um das Problem zu lösen, und die Trennstellen an Orten „geringer Konnektivität“ (VESTER 2015) liegen sollten.

Im Beispiel können die Gelenke zwar Quer- und Normalkräfte, aber keine Momente übertragen (vgl. RICHARD & SANDER 2013).

Insbesondere den Schnittstellen kommt eine hervorgehobene Bedeutung zu. Die übertragenen Kräfte werden über das Prinzip *Actio und Reactio* als Schnittstelle berücksichtigt. Eine isolierte Betrachtung der Teilsysteme ohne Berücksichtigung der Wechselwirkungen würde beispielsweise in den *Teilsystemen 1* und *3* die Last  $\frac{1}{2} F$  nicht berücksichtigen. Dies kann das Versagen des gesamten Systems zur Folge haben.



Im **Management von Projekten** hat sich die Dekompositionsmethode mittels Verwendung einer *Work-Breakdown-Structure (WBS)* als Mittel zur Komplexitätsbewältigung etabliert (vgl. JAKOBY 2019, GESSLER 2014, NORMAN et al. 2011, SPANG 2016). Aufgrund der „Einmaligkeit in der Gesamtheit seiner Bedingungen“ (DIN E.V. 2016), ist es notwendig, die Projektarbeit zu strukturieren. Dazu wird eine hierarchische, in mehrere Ebenen gegliederte Struktur nach der **Zerlegungsmethode** entwickelt.

*Bei der Zerlegungsmethode beginnt man mit der 1. Ebene, welche den Namen des Projekts darstellt. Dann wird das Projekt nach einem bestimmten Gliederungskriterium in verschiedene Teile zerlegt. Diese bilden dann die 2. Ebene. Die Work-Breakdown-Structure ist fertig gestellt, wenn alle Teile des Projektes in Arbeitspakete zerlegt wurden (DIN 69901, aus (DIN e.V., 2016)).*

Die WBS besteht aus den Elementen Wurzelement, Teilprojekt oder Teilaufgabe sowie Arbeitspaketen. Das **Wurzelement** stellt hierbei die oberste Ebene des Projektes dar. Es wird in mehrere Teilaufgaben oder Arbeitspakete zerlegt. **Teilaufgaben** bilden einzelne Elemente des Wurzelements.

Es gibt mehrere Kriterien, nach welchen die Untergliederung vorgenommen werden kann (vgl. GPM 2019, JAKOBY 2019):

- ▶ **objektorientierte** Gliederung: Das Projekt wird in einzelne Objekte zerlegt, z.B. Brückenwiderlager, Überbauten, Lager und Brückenkappen.
- ▶ **phasenorientierte** Gliederung: Das Projekt wird in Phasen gegliedert, beispielsweise in die Leistungsphasen (LPH) nach § 47 HOAI, Leistungsbild Verkehrsanlagen. In den untergeordneten Ebenen können wiederum Teilprozesse oder Tätigkeiten eingefügt werden, beispielsweise

den Grundleistungen im Leistungsbild Verkehrsanlagen gemäß Anlage 13 HOAI (z.B. Ermitteln der Planungsrandbedingungen sowie Beraten zum gesamten Leistungsbedarf als eine der Grundleistungen der LPH 1 des Leistungsbilds Verkehrsanlagen). Diese Gliederungsart wird auch als funktionsorientierte Gliederung bezeichnet.

- ▶ **gemischtorientierte** Gliederung: Hier werden in den einzelnen Ebenen unterschiedliche Gliederungen verwendet.

SPANG (2016) erwähnt ergänzend die Möglichkeit, Infrastrukturprojekte räumlich, beispielsweise nach Streckenabschnitten oder Bauwerken, sowie vertraglich, beispielsweise nach Vergabepaketen, zu strukturieren.

**Arbeitspakete** stellen die kleinste Einheit der WBS dar. Sie können nicht weiter zerlegt werden und beinhalten eine genau spezifizierte Beschreibung der erwarteten Leistung. Hierbei ist das Ergebnis des Arbeitspaketes eindeutig zu beschreiben (vgl. GESSLER 2014, MÖLLER & DÖRRENBURG 2003).

Wechselbeziehungen zwischen den Entitäten des Systems können auf der Ebene der Arbeitspakete über das Feld „Voraussetzungen“ eingetragen werden. Allerdings kann man bei großen Infrastrukturprojekten von einer sehr hohen Anzahl von Arbeitspaketen ausgehen, ein Umstand, welcher eine Berücksichtigung dieser Interdependenzen über das Instrument WBS erschwert. Indirekte Wechselwirkungen können damit nicht übersichtlich dargestellt werden. Ferner sind übergeordnete Zusammenhänge für die Akteur:innen in den Arbeitspaketen nicht sichtbar.

In Tabelle 15 ist als Beispiel das fiktive Arbeitspaket „zeichnerische Darstellung der Brückenkappe Bauwerk 40.05Ü“ dargestellt.

Tabelle 15: Beispiel des Arbeitspaketes *zeichnerische Darstellung der Brückenkappe nach Kap 1 (RIZ), Ausführung mit Radweg.*

<b>Arbeitspaket (AP)</b>		<b>PSP-Code: 1.5.6.18</b>
<b>Projekt</b>	Ortsumfahrung Musterhausen	
<b>Titel des AP</b>	zeichnerische Darstellung der Brückenkappe Bauwerk 40.05Ü	
<b>Verantwortlich</b>	Maxime Musterfrau	
<b>Mitarbeiter</b>	Paul Neumann	
<b>Ergebnis des Arbeitspaketes:</b>		
zeichnerische Darstellung der Brückenkappe nach Kap 1 Blatt 3 (RIZ), Ausführung mit Radweg		
<b>Tätigkeiten im Arbeitspaket:</b>		
Übernahme der Bauwerksabmessungen und Anwendung der Kap1 Überprüfen der Anschlussbewehrung nach den Angaben der RIZ		
<b>Voraussetzungen:</b>		
Entscheidung Führung Radweg über BW 40.05Ü ist erfolgt Form Überbau ist abgestimmt		
Aufwand [Personentage]		0,5
<b>Kosten</b>		
Personal		420 €
Sachmittel		0 €
Sonstiges		0 €
<b>Summe</b>		<b>420 €</b>

In der WBS werden mit der Dekomposition von Teilproblemen sowie der Hierarchisierung zwei Werkzeuge zur Reduktion von Komplexität vereint. Abbildung 41 zeigt den möglichen Aufbau einer WBS. Es ist zu beachten, dass Arbeitspakete auf allen Ebenen verortet sein können. Wesentlich ist, dass die Ketten jeweils mit einem Arbeitspaket enden.

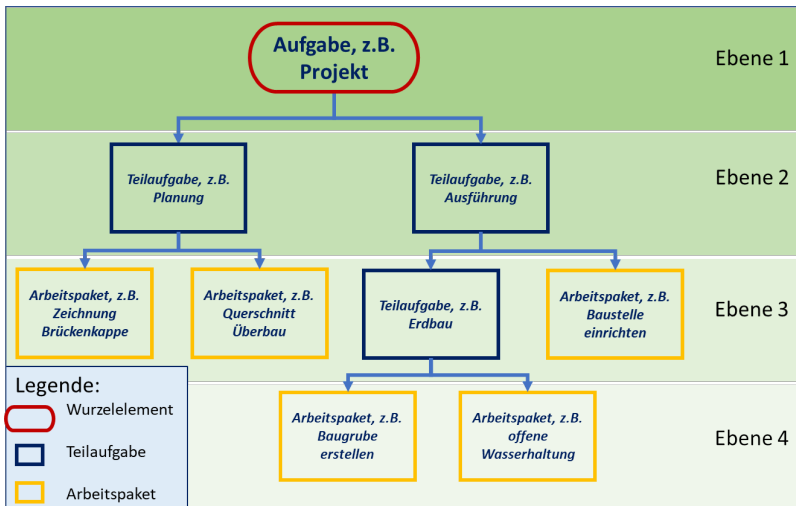


Abbildung 41: prinzipieller Aufbau einer WBS (eigene Darstellung, Auflistung unvollständig).

Neben der bereits zuvor genannten Top-Down Vorgehensweise existiert auch die Möglichkeit, eine WBS von den Arbeitspaketen über die Teilaufgaben in den Ebenen aufsteigenden Reihenfolge (Bottom-Up) zu entwickeln.

SPANG (2016) identifiziert in der Gliederung der **Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (RE)** eine geeignete grobe Projektstruktur für Infrastrukturprojekte.

Schließlich bilden **Leistungsbeschreibungen** im Bauwesen eine „feingliedrige, detaillierte Dekomposition“ (GIRMSCHIED & MOTZKO 2007) des zu liefernden Gegenstands im Rahmen einer Ausschreibung ab.

Damit bietet die WBS zwar die Möglichkeit, die Dekomposition eines Gegenstands strukturiert darzustellen, aus den nachstehenden Gründen kann dieser jedoch nicht als ausschließliches Dekompositions-

und Modellierungswerkzeug im Sinne der Fragestellung nutzbar sein, da

- ▶ die Entitäten im System sich dynamisch verhalten können, also Eigenschaften im Verlauf der Zeit verändern; dies kann in einer WBS nicht dargestellt werden;
- ▶ Multistakeholder-Projekte der Infrastruktur sich durch eine große Zahl beteiligter Stakeholder, ein mehrdimensionales Zielsystem, unterschiedliche Zieloperationalisierungsgrade sowie die Notwendigkeit auszeichnen, Entscheidungen bei Unsicherheit treffen zu müssen;
- ▶ eine Überprüfung des Ziels „Stabilität des Gesamtsystems“ mangels ausreichender Berücksichtigung von Wechselwirkungen nicht möglich ist, da die Wirkbeziehungen bei komplexen Systemen, welche in einer WBS bis zur Arbeitspaket-Ebene dargestellt sind, nicht überblickt werden können. Beispielsweise kann es sein, dass im Rahmen eines Planungs- und Genehmigungsverfahrens aufgrund von Widerständen von Anwohner:innen eine Entscheidung für umfangreiche Schallschutzmaßnahmen getroffen wird. Dies könnte Änderungen u.a. an der konstruktiven Durchbildung sowie der Bemessung des technischen Teilsystems „Brückenkappe“ zur Folge haben, da die Verankerung der Pfosten für die Schallschutzelemente in den Bewehrungsplänen zu berücksichtigen ist (Abbildung 42 und Abbildung 43). Derartige Querverbindungen werden in einer WBS jedoch nicht dargestellt.



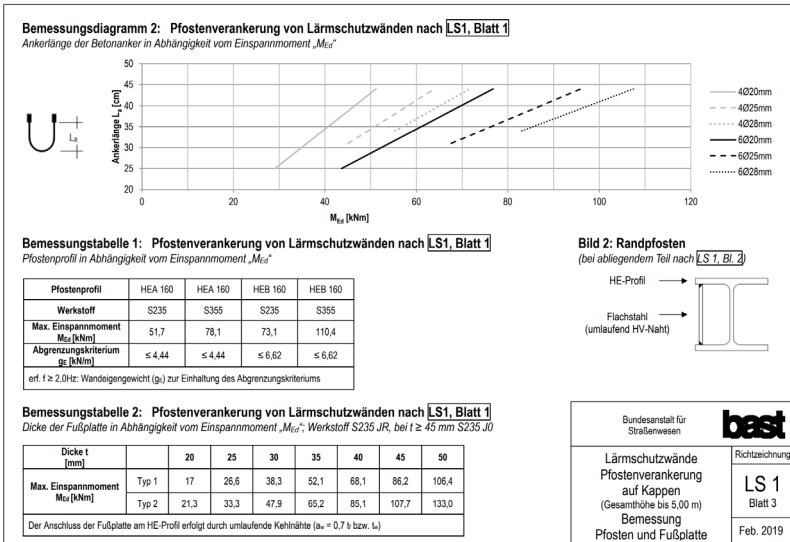


Abbildung 43: Bemessungsdiagramm für die Verankerung von Pfosten für Lärmschutzwände nach RIZ.

Davon unbenommen kann die WBS eines dynamischen Systems die **Grundlage** für eine spätere Überführung in ein Modell bilden, **sofern die Wirkbeziehungen in letzterem berücksichtigt werden.**

### 5.3.3 Besonderheit der Dekomposition des Systems $SuL$

Möchte man das System Straße und Landschaft in der Transformation dekomponieren, dann ist zu beachten, dass es sich um ein dynamisches und komplexes Umfeld mit technischen, abiotischen, biotischen und sozialen Teilsystemen handelt (vgl. Abschnitt 3.3).

Die Dekomposition des Systems  $SuL$  kann daher nur ein Zwischenschritt sein, um die Komplexität des Problems dadurch zu reduzieren, indem es in kleine Entitäten gegliedert wird. Wegen der Besonderheit der unterschiedlichen Systemdimensionen mit ihren mannigfachen

Prozessen und Ordnungsprinzipien in Verbindung mit der dynamischen Komplexität des Gegenstands mit seinen vielfältigen Wirkbeziehungen ist zu untersuchen, welche Besonderheiten im Rahmen der Dekomposition von *SuL* zu beachten sind, um die spätere Rekomposition unter Beachtung der Interdependenzen zwischen den Systementitäten zu ermöglichen.

### 5.3.4 Messung der Qualität der Dekomposition

In der Hypothese wird auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Qualität der Dekomposition und dem Erfolg eingegangen. Dies bedarf einer Klärung darüber, wie die Qualität der Dekomposition des Systems *SuLT* ermittelt werden kann. Später müssen die dekomponierten Teile im Zuge der Rekomposition wieder „zu einem Ganzen zusammengefügt“ (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020) werden. Die Autoren verweisen darauf, dass dies eine „gezielte Informationsweitergabe an alle relevanten Akteur:innen [erfordere]“ (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020).

Die Faktoren Komplexität, Einmaligkeit, Projektdauer und Projektkosten von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur lassen es unmöglich erscheinen, die Hypothese experimentell zu überprüfen. Die Aussagen aus Abschnitt 3.7 zur Dekomposition im Zusammenhang mit *SuL* lassen in Verbindung mit den Ausführungen dieses Abschnittes experimentell keine Validierung der Arbeitshypothese zu, sie stützen jene allerdings logisch-deduktiv. Dies lässt sich an den bereits zuvor aufgeführten Beispielen des Gerberträgers und der Brückenkappe verdeutlichen:

Beispiel Gerberträger im Brückenbau (Abbildung 40):

Wird die Dekomposition nicht mit der Maßgabe der gezielten Informationsweitergabe betrieben, dann könnte es sein, dass die Lasten aus



dem Teilsystem 2 nicht nach dem Prinzip *Actio und Reactio* berücksichtigt werden, mit der möglichen Folge des Versagens des Systems Brückenbauwerk.

Beispiel Brückenkappe (Abbildung 42 und Abbildung 43):

Werden im Rahmen des Genehmigungsverfahrens zusätzliche Schallschutzmaßnahmen auf dem Brückenbauwerk notwendig, ergeben sich daraus notwendige Änderungen in den Ausführungsplänen sowie in der Tragwerkplanung. Diese Schnittstellenänderungen zwischen den einzelnen Teilsystemen des Gesamtsystems *Brückenbauwerk* müssen durch die zugehörigen Teilsysteme des *P-Systems* koordiniert werden. Entfällt die Informationsweitergabe, dann kann dies zu zeitlichen Verzögerungen und Mehrkosten im Projekt führen.

Auch wenn die Hypothese experimentell nicht am realen Projektgegenstand überprüft werden kann, so ist es dennoch möglich, bei der Modellbildung einzelne als besonders kritisch erkannte Entitäten mit deren Wirkbeziehungen zu berücksichtigen und mögliche Auswirkungen eines potenziellen Informationsverlustes im Rahmen der Simulation am Modell zu überprüfen. Dies kann als störende Flussgröße im Zuge der Stabilitätsprüfung des Systems geschehen (vgl. Abschnitt 4.11).

### Zwischenfazit der theoretischen Grundlagen

Die Dekomposition von *SuLT* hat das Ziel, durch Auflösung von Aufgaben in Teilaufgaben die Komplexität zu reduzieren, um Probleme damit beherrschbarer zu machen. Die Qualität der Dekomposition wird durch die Notwendigkeit bestimmt, die vielfältigen Belange und gegenseitigen Abhängigkeiten der Einzelteile in der Planung und Rekombination zu berücksichtigen. Neben der sich aus der Struktur des Systems ergebenden logischen Dekomposition besteht auch die Möglichkeit, das System u.a. räumlich, zeitlich, nach Funktionen oder auch nach Akteur:innen, Organisationen oder Verträgen zu dekomponieren. Zu beachten ist, dass jeder Dekompositionsschritt auch die Interdependenzen zwischen den Entitäten trennen kann und dass dies im Rahmen der Rekombination berücksichtigt werden muss; eine Nichtbeachtung kann erhebliche Folgen für das Gesamtsystem haben. In der Praxis findet die Dekompositionsmethode bereits Anwendung u.a. bei der Work-Breakdown-Structure, der Aufteilung von Planungsabschnitten, Leistungsbeschreibungen sowie in der Tragwerksplanung.

Abschnitt 5.4 bezieht die Thematik der Systemdimensionen sowie der Dynamik in der Transformation in die Überlegungen mit ein und entwickelt einen Vorschlag für die Dekomposition sowie die Rekombination des Systems *SuLT*.

## 5.4 Dekomposition und Analyse des dynamisch komplexen Systems Straße und Landschaft in der Transformation

Ziel dieses Abschnittes ist es, ein Vorgehen zu entwickeln, nach dem das dynamisch komplexe System *SuLT* in besonders relevante Teile dekomponiert werden kann, um daraus ein Modell als virtuelle Rekomposition des Systems abzuleiten. Nach der Analyse dieses Modells sollen bedeutsame Teilbereiche zu einem simulationsfähigen Teilmodell weiterentwickelt werden. Der Zweck des Modells ist es, den Erfolg der Systemtransformation zu erhöhen, um die vielfältigen Teilziele des Vorhabens besser berücksichtigen zu können. Die Stabilität des Systems leistet hierzu einen nennenswerten Beitrag (vgl. Abschnitt 4.11). Wenn Systeme, welche „aus miteinander in Beziehung stehenden Entitäten [bestehen], deren Funktionalität größer ist als deren Summe“ (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020), dann müssen diese Entitäten und deren Wechselwirkungen untereinander analysiert werden. Ferner ist zu beachten, dass infolge der strukturellen Kopplung zwischen dem System *SuL* und dem Planungssystem dieses wiederum Teil des Gesamtsystems ist und im Zuge der Dekomposition berücksichtigt werden muss (vgl. Abschnitt 3.5).

### 5.4.1 Komplexität und Systemdimensionen im System *SuLT*

Das System *SuLT* hat ein komplexes Gepräge, bestehend aus technischen, sozialen, abiotischen und biotischen Systemdimensionen. MAINZER (2008) beschreibt in seinen systemtheoretischen Betrachtungen die steigende Komplexität von Maschinen (technischen Systemen) über Lebewesen (biotischen Systemen) hin zu Gesellschaften (sozialen Systemen). In der WBS technischer Investitionsprojekte könnten die nichttechnischen Systemdimensionen häufig vernachlässigt werden, da diese nicht zu den vertraglich festgelegten Lieferge-

genständen gehören. Damit würden die Beiträge der unberücksichtigten Systemdimensionen auf die Wechselwirkungen in dynamisch-komplexen Systemen nicht oder nur unzureichend in die Überlegungen in der Projektarbeit einbezogen. CRAWLEY et al. (2016) warnen davor, dass beispielsweise eine nicht sorgfältig durchgeführte Dekomposition in sozialen Systemen wichtige Kommunikationsstrukturen zerstören kann, mit negativen Auswirkungen auf das zukünftige System. STERMAN (ca. 2009) sieht darin eine wichtige Triebfeder für den Aufbau von Teilsystemen.

Daraus kann gefolgert werden, dass die Dekomposition nicht allein auf der technischen Ebene erfolgen sollte, sondern sie ist um die verschiedenen Systemdimensionen mit ihren unterschiedlichen Komplexitäten zu erweitern (Abbildung 44).

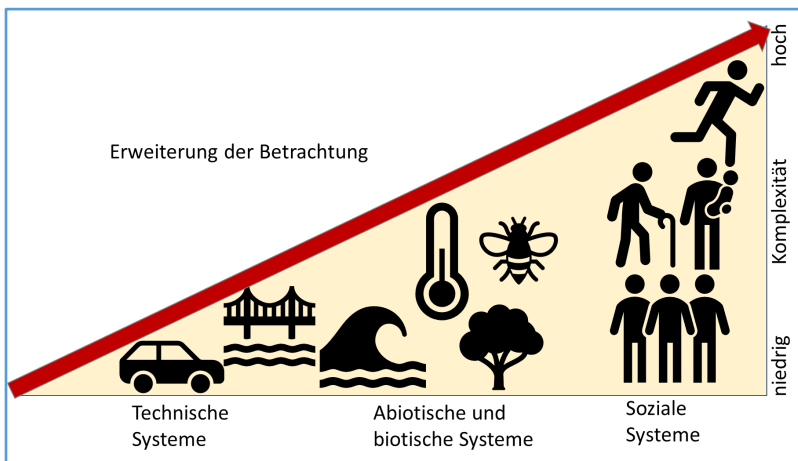


Abbildung 44: Komplexität verschiedener Systemdimensionen (eigene Darstellung nach KRIEGER (1998)).

Dies unterstützt den vorgeschlagenen Perspektivwechsel in der Planung von Verkehrsinfrastrukturprojekten. Auch bei der späteren Re-

komposition ist zu beachten, dass sich u.a. die Prozesse und Ordnungsprinzipien der Systemdimensionen voneinander unterscheiden (Tabelle 16).

Tabelle 16: Prozesse und Ordnungsprinzipien in Systemen (MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020)

Systemdimension	Operation (Prozesse)	Ordnungsprinzip (Code)
<b>technische Systeme</b>	Stoff- Energie- und Informationsumsatz	Baupläne auf der Basis von Naturgesetzen
<b>soziale Systeme</b>	Kommunikation	Sinn
<b>abiotische Systeme</b>	chemische und physikalische Prozesse	Naturgesetze
<b>biotische Systeme</b>	Reproduktion und Selbsterhalt	genetischer Code

#### 5.4.2 Grundstruktur des Systems *SuLT*

Das Wurzelement einer WBS bildet das System *SuLT*. Dieses wiederum besteht zunächst aus dem Gegenstand, auf welchen die Planung ausgerichtet ist - der Straße mit der sie umgebenden (Stadt-)Landschaft sowie der die Transformation gestaltenden Prozesse. In einem ersten Dekompositionsschritt soll das Grundmodell des Systems *SuLT* daher in die **Teilsysteme System *SUL*** und **Prozess** dekomponiert werden. Durch den Transformationsprozess, welcher durch das System *P* gestaltet wird, entwickelt sich das System *SuL 0* zu einem System nach der Transformation, dem System *SuL 1* (Abbildung 45).

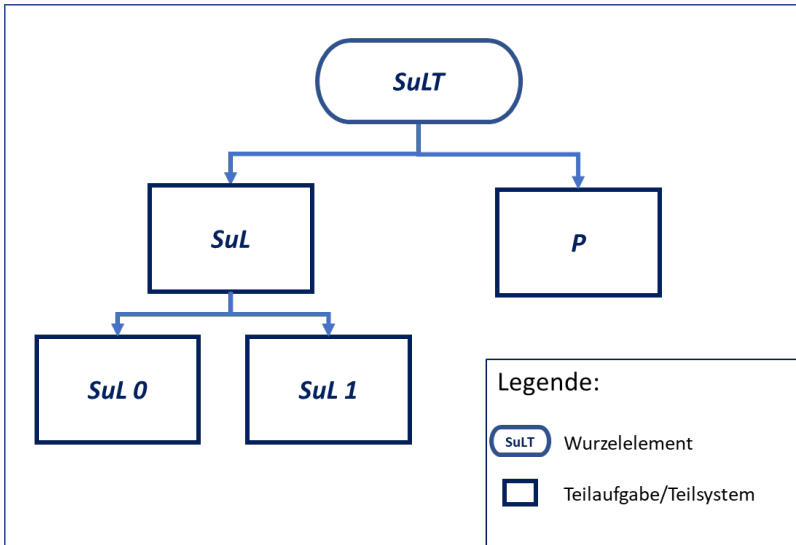


Abbildung 45: Grundschemata der Dekomposition von Straße und Landschaft in der Transformation (SuLT) in einer WBS (eigene Darstellung).

Dieses Grundschemata bildet die Basis für die Entwicklung einer WBS des Systems *SuLT*. Bei dieser Darstellung ist zu beachten, dass zu jedem Zeitpunkt  $t$  nur **ein** reales System *SuL* existiert. Ebenso ist anzumerken, dass das in Abbildung 45 gezeigte Grundschemata weder die strukturelle Kopplung zwischen dem *P*- und dem *SuL*-System, noch die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Entitäten des *SuL*-Systems abbildet. Um diese Interdependenzen, wie in Abschnitt 3 beschrieben, zu berücksichtigen, sollten sie den dekomponierten Entitäten attribuiert werden, um sie im Zuge der Rekomposition und Simulation zu berücksichtigen.

Daraus könnte gefolgert werden, dass alle denkbaren Wirkbeziehungen in der Modellbildung berücksichtigt werden müssen. Allerdings könnte dies zu einem Zustand führen, welcher jenem der **Entropie** nahekommt, der „*Gleichwahrscheinlichkeit* aller möglichen Verbindungen unter den Elementen“ (KRIEGER 1998). Dies könnte dazu führen,

dass sehr viel Zeit in die **Erfassung** aller Wirkbeziehungen investiert werden muss, und dass der **Aufwand für die Simulation** der Systeme dadurch enorm steigt. Daraus lassen sich die Fragen nach den **Grenzen der Berechenbarkeit** bei einer hohen Detaillierung und nach der **Aggregationstiefe** der systemischen Betrachtung ableiten.

MAINZER (2008) beschäftigt sich einerseits mit der Frage, „ob ein Problem überhaupt berechenbar ist“, aber auch „mit welchem Aufwand“ (MAINZER 2008) dies geschieht, und verweist darauf, dass komplexe Probleme nur durch zeitaufwendige Algorithmen gelöst werden können. Bei der Wahl der Aggregationsstufe ist demnach auch der Zusammenhang zwischen Aufwand und Nutzen zu berücksichtigen. LUHMANN (2015) betont, dass „[d]ie logische Möglichkeit, jedes Element mit jedem anderen zu verknüpfen, [...] kein System realisieren [kann]“ (LUHMANN 2015).

#### 5.4.3 Detaillierungsgrad der Dekomposition

Der Gegenstand der Modellbildung ist das Gesamtsystem *SuLT*. Dieses System kann jedoch nicht im Detail mit allen Entitäten dargestellt werden, da dies „unweigerlich zur Informationsflut [führt und den Blick von den...] realen Dimensionen der Vernetzung“ (VESTER 2015) ablenkt.

VESTER (2015) verweist damit auf die Notwendigkeit der Datenreduktion. Am Beispiel des Videospiele „Frogger“ aus dem Jahr 1981 wird deutlich, dass sowohl die Fahrzeuge als auch ein die Straße überquerender Frosch, obschon aus vergleichsweise großen Rechtecken bestehend, dennoch als solche wahrgenommen werden können (Abbildung 46). Für die Simulation der Fahrbahnüberquerung eines Frosches ist es nicht notwendig, den Frosch oder die Fahrzeuge bis zur molekularen Ebene zu dekomponieren, da dies für die Simulation keine Relevanz besitzt.

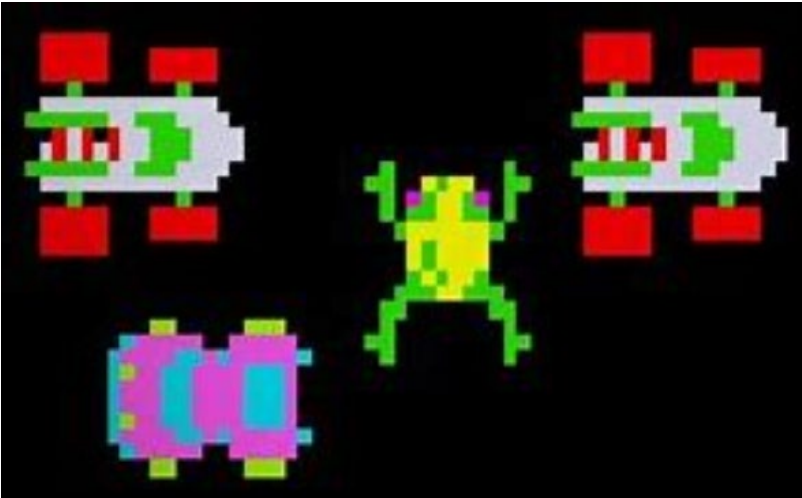


Abbildung 46: Screenshot des Videospiele „Frogger“ (KONAMI 12.04.2022)

Aus dem Grad der Detaillierung (vergleichbar mit der Größe der Rechtecke in Abbildung 46) ergibt sich die Anzahl notwendiger Trennstellen zwischen den einzelnen Entitäten. Daraus lässt sich die Frage entwickeln, wie weit die Grenzen von Systemen oder Subsystemen gezogen werden sollen.

#### 5.4.4 Grenzen von Systemen und Subsystemen

MEADOWS & WRIGHT (2011) beschäftigen sich neben der Wahl der Aggregationsstufen auch mit der Wahl der Systemgrenzen: „If we're to understand anything, we have to simplify, which means we have to make boundaries“ (MEADOWS & WRIGHT 2011). Sie beschreiben die Schwierigkeiten einer Grenzziehung zwischen dem System und seiner Umwelt und verweisen auf damit verbundene Probleme, u.a.:



- ▶ Zu enge Grenzen können zu überraschendem Verhalten im real existierenden, durch das Modell dargestellten Gegenstand führen, wenn Wechselwirkungen nicht berücksichtigt und damit in der Simulation für das Systemverhalten relevante Einwirkungen vernachlässigt werden.
- ▶ Zu weite Grenzen können zur Folge haben, dass große Datenmengen erfasst und analysiert werden müssen, welche den Blick von für das Systemverhalten relevanten Systembeziehungen ablenken können (vgl. MEADOWS & WRIGHT 2011).

Sie empfehlen zu beachten, dass Systemgrenzen menschliche Konstrukte sind und im Einzelfall mit Blick auf den Zweck des Modells oder die Problemstellung festgelegt werden sollten (vgl. MEADOWS & WRIGHT 2011). BOSSEL (2004) empfiehlt, die Grenzen an jenen Stellen zu ziehen, an denen die Schnittstellen zur Umwelt „nicht funktionsrelevant sind“ (BOSSEL 2004). Ferner regt er an, die Grenzen an jenen Stellen zu ziehen, an denen die Auswirkungen des Verhaltens nicht durch Rückkopplungen bestimmt werden (vgl. BOSSEL 2004).

#### 5.4.5 Fokussierung auf die Planungsprozesse als Teil des *P-Systems*

Erfolg wird an der Erfüllung von Zielen gemessen (vgl. Abschnitt 4.4). Diese werden in wesentlichem Ausmaß von Akteur:innen des *P-Systems* gesetzt. Das *P-System* konstituiert sich aus den Prozessen sowie den Akteur:innen. Letztere werden den sozialen Systemen zugeordnet und sind daher sinngesteuert (vgl. Tabelle 16). Da der Erfolg der Transformation des Systems von der Sinngebung der Akteur:innen im Planungsprozess abhängt, soll zunächst dieser Prozess dekomponiert und analysiert werden (vgl. Abschnitt 5.5). In Kapitel 5.7 folgt dann die Dekomposition des Systems *SuL*.

### **Zwischenfazit**

*SuLT* ist ein mehrdimensionales System, dessen komplexe Realität in seiner Gänze nicht verstanden werden kann. In einem ersten Schritt kann *SuLT* in die Teilsysteme *SuL* und *P* dekomponiert werden, wobei *SuL* sich in der Transformation von *SuL0*- zum *SuL1*-System und damit in einem dynamischen Zustand befindet.

Weitere Dekompositionsschritte sind notwendig, wobei die Interdependenzen zwischen den dekomponierten Entitäten für die spätere Rekomposition beachtet werden müssen, da diese relevant für den Erfolg der Systemtransformation sind.

Ferner muss im Spannungsfeld zwischen notwendiger Detailtiefe und Abstraktion ein vertretbarer Kompromiss gefunden werden. Damit wird einerseits Entropie und Komplexität verringert und andererseits der Aufwand für die Modellbildung und Simulation begrenzt.

## **5.5 Dekomposition und Analyse der Planungsprozesse**

### **5.5.1 Dekomposition der Straßenplanung in einen gestuften Prozess**

Die Realisierung eines Verkehrsinfrastrukturvorhabens bedingt eine große Zahl an Aktivitäten, u.a. der Planung, der baulichen Umsetzung und des Betriebs.

In Abschnitt 5.1 wurde beschrieben, dass sich die vorliegende Ausarbeitung vornehmlich mit dem Perspektivwechsel in den Planungsprozessen beschäftigt. Im Fokus dieser Arbeit stehen daher nicht die Bauprozesse oder die Phase der Nutzung, sondern die Prozesse der

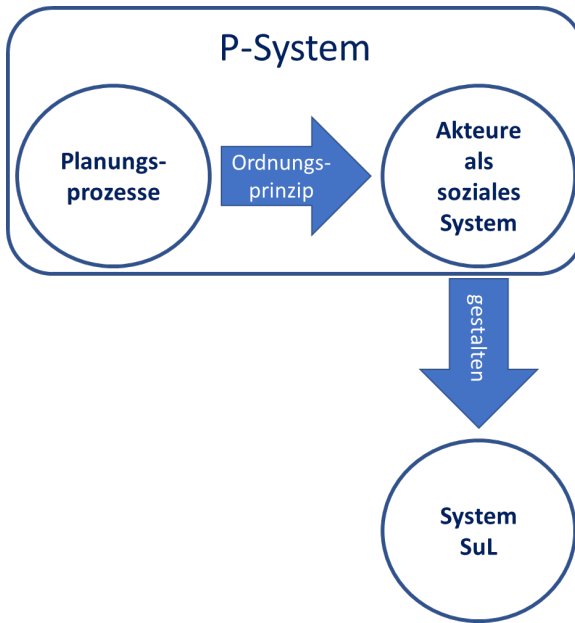


Abbildung 47: Wirkzusammenhänge zwischen Planungsprozessen, Akteur:innen und SuL als Planungsgegenstand (eigene Darstellung).

Planung. Diese bilden auf der Grundlage des Planungsrechts und gemeinsam mit dem Vergaberecht das Ordnungsprinzip des sozialen Systems der Planenden. Das *P-System* lässt sich folglich in die Entitäten **Prozesse** und **Akteur:innen** dekomponieren. Zwischen dem System *SuL* als Planungsgegenstand, den Planungsprozessen und den Planenden

bestehen Wirkzusammenhänge, welche bei der Dekomposition berücksichtigt werden müssen. Dies gilt insbesondere deshalb, da Planungen fachbezogen und in der Folge gebunden an einzelne Entitäten des *SuL*-Systems an Planende vergeben werden. Damit bedingen die Planungsprozesse u.a. die Vergabe der Planungsleistungen an die Planenden, welche wiederum die Transformation des Planungsgegenstandes gestalten (Abbildung 47).

Dieser Abschnitt befasst sich nicht mit dem *SuL*-System als Planungsgegenstand – dies erfolgt in Abschnitt 5.7 –, sondern mit der Dekomposition *des P-Systems*. In einem ersten Schritt lässt sich dieses in die beiden Entitäten *Planungsprozesse* und *Akteur:innen* dekomponieren (Abbildung 48).

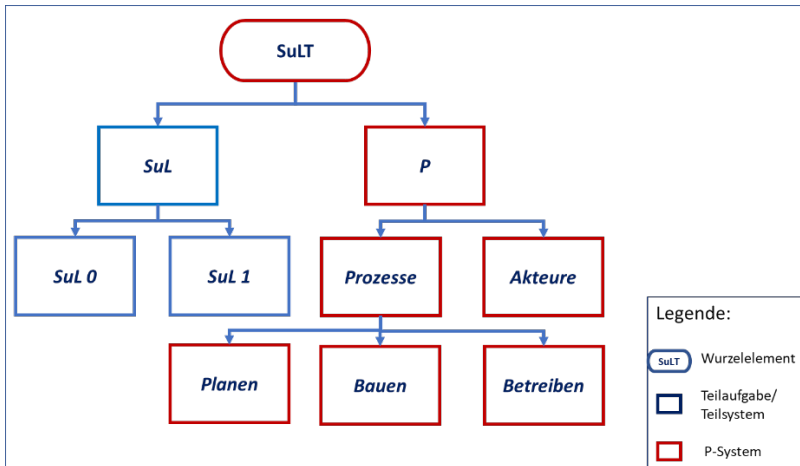


Abbildung 48: Betrachtung des P-Systems in der WBS (eigene Darstellung).

Die Planenden als Akteur:innen bilden ein heteronomes, autopoietisches soziales System. Die Planung selbst ist ein Kommunikationsmedium, durch welches das soziale System der Planenden operiert (vgl. Abschnitt 3.3).

Aufgrund eben dieser Heteronomie besteht die Möglichkeit, das Ordnungsprinzip zum Zweck der Optimierung des Systemtransformationserfolgs zu verändern. Daraus lässt sich, die Komplexität der Planungsprozesse nicht außer Acht lassend, ein Vorgehen entwickeln, nach welchem zunächst die Planungsprozesse dekomponiert und dann auf Optimierungspotenzial untersucht werden, um **die Dekomposition des dynamischen Systems SuL auf diesen eingeschränkten, weniger komplexen Planungszeitraum anzuwenden**. Es wird daher auf das soziale System der Planenden im Rahmen dieser Ausführungen nicht vertiefend eingegangen.

## 5.5.2 Der Prozess der Planung von Projekten der Verkehrsinfrastruktur

Unter „Planen wird [die] gedankliche und theoretische Vorwegnahme von erwarteten oder möglichen und notwendigen Aktivitäten“ (SPANG 2016) verstanden. Daneben müssen Straßenentwürfe „rechtliche [...] und technische [...] Voraussetzungen [...] erfüllen“ (NATZSCHKA 2011). „Das Planungsrecht [...] verfolgt das Ziel einer **umfassenden Problembewältigung durch Regelung aller durch das Vorhaben betroffenen öffentlich-rechtlichen Beziehungen**“ (SPANG 2016). Der Planfeststellung als Genehmigungsverfahren geht eine Anzahl vorgelegter Verfahren voraus, beispielsweise das Raumordnungsverfahren oder die Bestimmung der Linie (vgl. SPANG 2016, BRACHER & BÖSL 2017, NATZSCHKA 2011).

Abbildung 49 unterscheidet im Planungsprozess nach

- ▶ Leistungsphasen,
- ▶ Verfahren,
- ▶ Planungs- und Entwurfsstufen sowie
- ▶ umweltfachlichen Beiträgen.

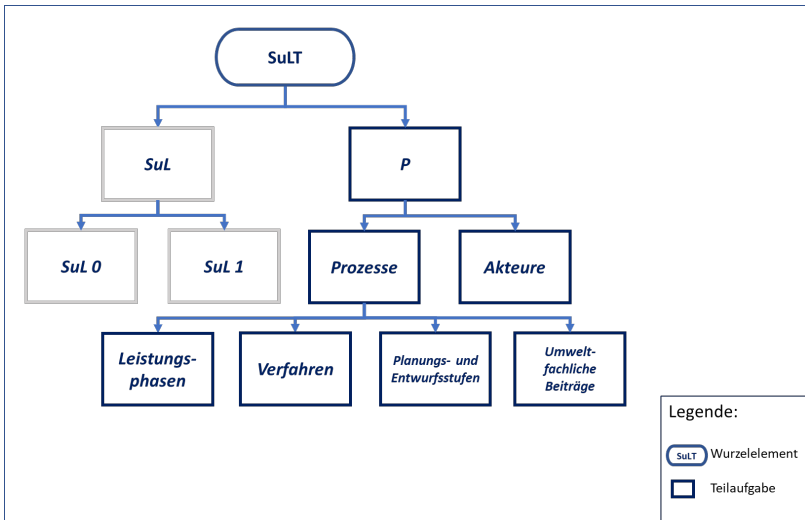


Abbildung 49: Dekompositionsschritte im P-System der Straßenplanung (eigene Darstellung).

Die Entität der Prozesse folgen wiederum einem gestuften Prozessablauf und sind Gegenstand der Betrachtungen der Abschnitte 5.5.3 bis 5.5.8.

### 5.5.3 Verkehrsplanung nach den Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN)

In den **RIN** werden Aussagen über „die Gestaltung der Verkehrsnetze [getroffen]“ (BRACHER & BÖSL 2017). Darin werden bereits „neben dem raumordnerischen Ansatz [...] auch umwelt- und landschaftsbezogene Planungsziele ein[bezogen]“ (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN 2009). Sie bieten darüber hinaus eine „methodische Planungshilfe für die integrierte Verkehrsnetzplanung, in der die relevanten Aspekte der Raum- und Umweltplanung einbezogen sind“ (BRACHER & BÖSL 2017).

Die funktionale Gliederung des Straßennetzes erfolgt über die Einteilung der Straße in Kategorien. Daraus ergeben sich Trassierungsgrenzwerte, beispielsweise nach den Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), den Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen, Ausgabe 2006 (RASt), oder den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen in der Ausgabe 2012 (RAL).

Zur Ermittlung der Kategorie der gewünschten Straßenverbindung wird die Bedeutung der Verbindung für den Verkehr durch eine Verbindungsfunktionsstufe festgelegt (Abbildung 50 sowie Tabelle 17).

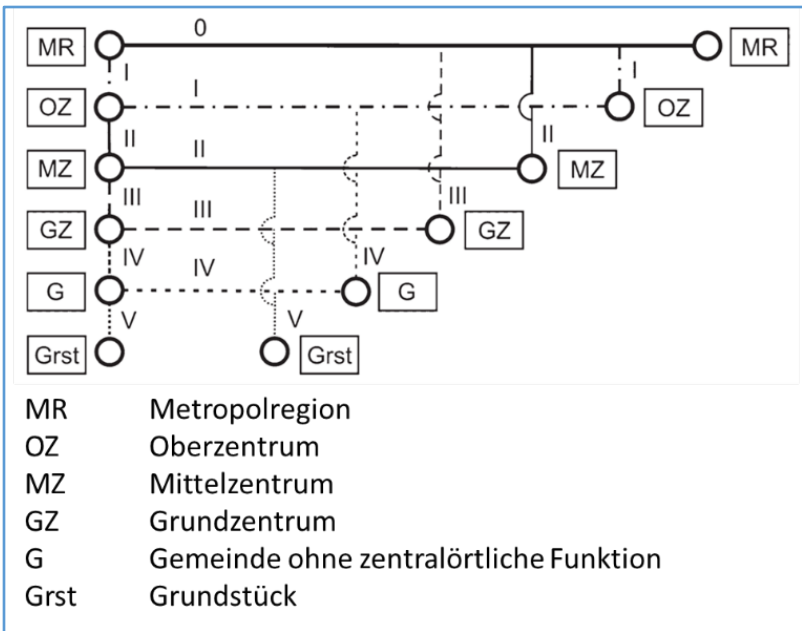


Abbildung 50: Schematische Darstellung der Verbindungsfunktionsstufen (BRACHER & BÖSL 2017).

Tabelle 17: Verbindungsfunktionsstufen und deren Kriterien (BRACHER & BÖSL 2017, ZILCH et al. 2020). Abkürzungen siehe Legende zu Abbildung 50.

Verbindungsfunktion		Einstufungskriterien		Beschreibung
Stufe	Bezeichnung	Versorgungsfunktion	Austauschfunktion	
<b>0</b>	kontinental	-	MR - MR	Verbindung zwischen Metropolregionen
<b>I</b>	großräumig	OZ - MR	OZ - OZ	Verbindung von Oberzentrum zu Metropolregionen und zwischen Oberzentren
<b>II</b>	überregional	MZ - OZ	MZ - MZ	Verbindung von Mittelzentren zu Oberzentren und zwischen Mittelzentren
<b>III</b>	regional	GZ - MZ	GZ - GZ	Verbindung von Grundzentren zu Mittelzentren und zwischen Grundzentren
<b>IV</b>	nahräumig	G - GZ	G - G	Verbindung von Gemeinden ohne zentralörtliche Funktion zu Grundzentren und Verbindung zwischen Gemeinden ohne zentralörtliche Funktion
<b>V</b>	kleinräumig	Grst. - G	Grst. – Grst.	Verbindung von Grundstücken zu Gemeinden ohne zentralörtliche Funktion



Ferner sind Straßenverbindungen durch ihre Lage sowie verschiedener Nutzungsansprüche unterscheidbar. Die RAA, RASt und RAL differenzieren nach den in Tabelle 18 genannten Kategoriengruppen.

*Tabelle 18: Kategoriengruppen für Verkehrswege nach Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN), (BRACHER & BÖSL 2017).*

Lage	Funktion / Merkmal	Kategoriengruppe
<b>Stadtstraße</b> nach <b>RASt</b>	Erschließung, angebaut, innerhalb bebauter Gebiete	ES
	Hauptverkehrsstraße, angebaut, innerhalb bebauter Gebiete	HS
	im Vorfeld sowie innerhalb bebauter Gebiete, anbaufrei	VS
<b>Landstraßen</b> nach <b>RAL</b>	außerhalb bebauter Gebiete	LS
<b>Autobahnen</b> nach <b>RAA</b>	außerhalb und innerhalb bebauter Gebiete	AS

Aus den Kategoriengruppen nach Tabelle 18 und den Verbindungsfunktionsstufen nach Tabelle 17 können die Straßenkategorien nach Tabelle 19 miteinander verknüpft werden.

Tabelle 19: Ermittlung der Straßenkategorien (BRACHER & BÖSL 2017).

Verbindungs- funktionsstufe nach Tabelle 17						Kategoriengruppe nach Tabelle 18					
	AS	LS	VS	HS	ES		AS	LS	VS	HS	ES
<b>0</b>	AS 0		-	-	-		AS 0		-	-	-
<b>I</b>	AS I	LS I		-	-		AS I	LS I		-	-
<b>II</b>	AS II	LS II	VS II		-		AS II	LS II	VS II		-
<b>III</b>	-	LS III	VS III	HS III			-	LS III	VS III	HS III	
<b>IV</b>	-	LS IV	-	HS IV	ES IV		-	LS IV	-	HS IV	ES IV
<b>V</b>	-	LS V	-	-	ES V		-	LS V	-	-	ES V
Legende:		-	nicht vorkommend oder nicht vertretbar								
			problematisch								

Landstraßen und Autobahnen werden zur Schaffung einer homogenen Gestaltung verkehrlicher Funktionen Entwurfsklassen zugeordnet. Bei Autobahnen wird diese aus den Kriterien Straßenkategorie, Straßenwidmung sowie der Lage zu bebauten Gebieten ermittelt (Tabelle 20).

Tabelle 20: Entwurfsklassen für Autobahnen (BRACHER & BÖSL 2017, ZILCH et al. 2020).

Straßen- kategorie	AS 0 / AS I		AS II		
	Lage		außerhalb oder innerhalb	außerhalb	innerhalb
Lage	außerhalb oder innerhalb		außerhalb oder innerhalb	außerhalb	innerhalb
Wid- mung	BAB	Keine BAB	BAB	Keine BAB	alle
Ent- wurfs- klasse	EKA 1 A	EKA 2	EKA 1 B	EKA 2	EKA 3

Aus der Entwurfsklasse können die Trassierungsgrenzwerte für Autobahnen abgelesen werden (Tabelle 21).

Tabelle 21: Auswahl von Trassierungsgrenzwerten für Autobahnen (BRACHER & BÖSL 2017)

	EKA 1 A	EKA 1 BA	EKA 2	EKA 3
Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	keine			≤ 100
Querschnitt	RQ 43,5 RQ 36,0 RQ 31,0		RQ 28,0	RQ 38,5 RQ 31,5 RQ 25,0
Kurvenmindestradius [m]	900	720	470	280
Höchstlängsneigung [%]	4,0		4,5	6,0

Die Verkehrsstärke ist durch einen funktionalen Zusammenhang von der Verkehrsdichte und der Geschwindigkeit sowie von weiteren Faktoren abhängig. Bemerkenswert ist, dass man im Zusammenspiel zwischen der Verkehrsstärke (Kfz/h) und der Geschwindigkeit (km/h) einen Phasenübergang zwischen einem stabilen und einem instabilen Bereich beobachten kann (BRACHER & BÖSL 2017).

Bei **Landstraßen** erfolgt die Zuordnung in die Entwurfsklassen nach Tabelle 22.

Tabelle 22: Entwurfsklassen für Landstraßen (BRACHER & BÖSL 2017, ZILCH et al. 2020).

Straßen- kategorie	LS I	LS II	LS III	LS IV	LS V
Ent- wurfs- klasse	EKL 1	EKL 2	EKL 3	EKL 4	RLW

Schließlich können aus der Entwurfsklasse die Trassierungsgrenzwerte für Landstraßen abgelesen werden (Tabelle 23).

Tabelle 23: Auswahl von Trassierungsgrenzwerte für Landstraßen (BRACHER & BÖSL 2017).

	EKL 1	EKL 2	EKL 3	EKL 4
Planungsge- schwindigkeit [km/h]	110	100	90	70
Verkehrsstärke [Kfz/24h]	≤ 20.000	≤ 16.000	≤ 14.000	≤ 3.000
Querschnitt	RQ 15,5	RQ 11,5+	RQ 11	RQ 9
Empfohlener Ra- dienbereich [m]	≥ 500	400-900	300-600	200-400
max. Längsnei- gung [%]	4,5	5,5	6,5	8,0

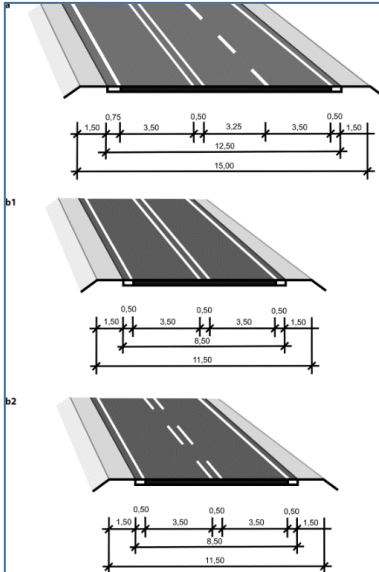


Abbildung 51: Regelquerschnitt RQ 11,5 für Landstraßen der Entwurfsklasse EKL 2 (vgl. RICHTER 2016).

Die Abbildung 51 zeigt die Ausführungsvarianten des Regelquerschnitts RQ 11,5+ für Landstraßen der Entwurfsklasse EKL 2. In Tabelle 21 und Tabelle 23 können die Zusammenhänge zwischen den Entwurfsklassen und den Trassierungsgrenzwerten entnommen werden. Zu den in den Tabellen genannten Grenzwerten existieren u.a. noch Grenz- und Richtwerte für die Höchstlängen von Geraden, Klothoidenparametern, der Höchstlängsneigungen,

Kuppen- und Wannenmindesthalbmesser, Haltesichtweiten, Mindest- und Höchstquerneigung sowie den empfohlenen Knotenpunktabständen.

### 5.5.4 Bedarfsplanung

Gemäß den Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (RE) bildet der festgestellte Bedarf die „Grundlage für die Aufnahme einer Planung“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2012). Die Bundesländer melden ihrerseits für Bundesstraßen und Autobahnen ihre Bedarfe. Diese werden seitens des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) bewertet und priorisiert (vgl. RICHTER 2016, BRACHER & BÖSL 2017, BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2012).

Die Abbildung 52 zeigt die monetäre Aufteilung nach Verkehrsträgern im Bundesverkehrswegeplan 2030 (BVWP 2030).



Abbildung 52: Aufteilung nach Verkehrsträgern im BVWP 2030 (BVWP 08.04.2022).

Die Bundesverkehrswegepläne werden vom zuständigen Bundesministerium (Stand Januar 2022: Bundesministerium für Digitales und Verkehr) aufgestellt und bilden die Grundlage für den Bedarfsplan, welcher als Anlage zum Fernstraßenausbaugesetz (FStrAbG) dem Deutschen Bundestag zur Abstimmung vorgelegt wird. In § 1 Abs. 1 FStrAbG wird dazu geregelt:

*(1) Bau und Ausbau der Bundesfernstraßen sind Hoheitsaufgaben des Bundes. Das Netz der Bundesfernstraßen wird nach dem Bedarfsplan für die Bundesfernstraßen ausgebaut, der diesem Gesetz als Anlage beigelegt ist.*

Der Umweltbericht zur Strategischen Umweltprüfung (SUP) bildet den umweltfachlichen Beitrag dieser Phase. Auf der Projektebene „dient [die Vorplanung] der Linienführung und einer ersten Abschätzung der

Folgen des Straßenbaus [...und muss...] alle erheblichen Auswirkungen auf das Umfeld der Straße erfassen“ (BRACHER & BÖSL 2017).

Die Priorisierung im BVWP 2030 erfolgte im Wesentlichen in die in Tabelle 24 genannten Dringlichkeitsstufen.

Tabelle 24: Dringlichkeitsstufen im BVWP 2030 (vgl. BMVI, 2016).

Dringlichkeitsstufe	Kriterien für die Einstufung
<b>Vordringlicher Bedarf (VB)</b>	Wirtschaftlichkeit sowie ggf. hohe raumordnerische oder städtebauliche Bedeutung
<b>Vordringlicher Bedarf Engpassbeseitigung (VB-E)</b>	Wirtschaftlichkeit, besonders hohe verkehrliche Bedeutung, geringe Auswirkungen auf die Umwelt bzw. im Rahmen einer Planfeststellung bereits berücksichtigt sowie ggf. hohe raumordnerische oder städtebauliche Bedeutung
<b>Weiterer Bedarf (WB)</b>	Grundsätzlicher verkehrlicher Bedarf festgestellt
Weiterer Bedarf mit Planungsrecht (WB*)	Wie vor jedoch mit Planungsrecht

Die Einstufung ist bedeutsam, da „für Vorhaben des WB [...] voraussichtlich erst nach 2030 Investitionsmittel zur Verfügung stehen“ (BMVI 2016). Ferner bedeutet die „Aufnahme der Maßnahme in den vordringlichen Bedarf oder den weiteren Bedarf mit Planungsrecht [...] die Stufe der Vorplanung“ (RICHTER 2016).

### 5.5.5 Vorplanung

Gem. § 16 FStrG „[bestimmt d]as Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [...] die Planung und Linienführung der Bundesfernstraßen“. Dem geht eine landesplanerische Beurteilung auf der Ebene der **Raumordnung** voran. Dies ist bereits eine sehr starke Eingrenzung der Entscheidungsmöglichkeiten, auch wenn damit die „Trasse nicht parzellenscharf festgelegt [wird]“ (BRACHER & BÖSL 2017).

Auf der Basis der sich aus den Entwurfsklassen ergebenden Trassierungsgrenzwerte werden Trassenalternativen entwickelt.

Im Zuge des Raumordnungsverfahrens werden verschiedene Varianten, einschließlich der Nullvariante, nach den folgenden Gesichtspunkten bewertet (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2012, RICHTER 2016):

- verkehrliche Funktionen (z. B. Verkehrsqualität, Verkehrssicherheit),
- Raumstruktur und städtebauliche Aspekte,
- wirtschaftliche Aspekte,
- Umweltauswirkungen.

Ferner müssen die Schnittstellen zum übergeordneten Verkehrssystem in die Überlegungen mit einfließen. Nach § 1 Abs. 1 UVPG ist dieses Gesetz anzuwenden für „die in Anlage 1 aufgeführten Vorhaben“. Tabelle 25 zeigt den Auszug der Anlage 1 UVPG, welcher sich mit Straßenverkehrsvorhaben befasst. Ein „X“ in Spalte 1 (Sp. 1) verweist darauf, dass das Vorhaben UVP-pflichtig ist. Ein „A“ in Spalte 2 verweist darauf, dass eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls nach § 7 Abs. 1 Satz 1 UVPG erfolgen muss.

Gemäß dem Übereinkommen über die Hauptstraßen des internationalen Verkehrs vom 15. November 1975 handelt es sich bei einer „[d]em Kraftfahrzeugverkehr vorbehaltenen, nur über Anschlußstellen



oder besonders geregelte Kreuzungen erreichbare Straßen, auf denen insbesondere das Halten und das Parken verboten sind“, um Schnellstraßen.

*Tabelle 25: Auszug aus der Anlage 1 des UVPG.*

Nr.	Vorhaben	Sp. 1	Sp. 2
<b>14.3</b>	Bau einer Bundesautobahn oder einer sonstigen Bundesstraße, wenn diese eine Schnellstraße im Sinne der Begriffsbestimmung des Europäischen Übereinkommens über die Hauptstraßen des internationalen Verkehrs vom 15. November 1975 ist;	x	
<b>14.4</b>	Bau einer neuen vier- oder mehrstreifigen Bundesstraße, wenn diese neue Straße eine durchgehende Länge von 5 km oder mehr aufweist;	x	
<b>14.5</b>	Bau einer vier- oder mehrstreifigen Bundesstraße durch Verlegung und/oder Ausbau einer bestehenden Bundesstraße, wenn dieser geänderte Bundesstraßenabschnitt eine durchgehende Länge von 10 km oder mehr aufweist;	x	
<b>14.6</b>	Bau einer sonstigen Bundesstraße;		A

Nach BRACHER & BÖSL (2017) ist „sicherzustellen, dass die Auswirkungen eines Vorhabens auf die Umwelt frühzeitig und umfassend ermittelt, beschrieben, bewertet und bei Entscheidungen über die Zulässigkeit des Vorhabens berücksichtigt werden“ (BRACHER & BÖSL 2017).

Nach § 2 Abs. 6 UVPG liegt eine Zulassungsentscheidung u. a. im Falle eines Planfeststellungsbeschlusses sowie der Linienbestimmungen und anderer Entscheidungen in vorgelagerten Verfahren nach

den §§ 47, 49 UVPG vor. Nach § 47 UVPG betrifft dies die Linienbestimmung nach § 16 Abs. 1 des Bundesfernstraßengesetzes (FStrG). § 49 Abs. 1 UVPG zielt hingegen auf Raumordnungsverfahren bei UVP-pflichtigen Vorhaben ab. Die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) von Straßenverkehrsvorhaben folgt dem in Tabelle 26 beschriebenen Ablauf.

*Tabelle 26: Ablauf einer Umweltverträglichkeitsstudie im Straßenbau (vgl. BRACHER & BÖSL 2017, FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN Ausgabe 2001, ZILCH et al. 2020).*

Arbeitsschritt	Beschreibung
<b>Vorbereitung</b>	<p><b>Screening</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Feststellen der UVP-Pflicht von <b>Straßenverkehrsvorhaben</b> nach § 5 UVPG sowie Anlage 1 UVPG:</li> </ul> <pre> graph TD     D1{Vorhaben nach Anlage 1 UVPG (§ 1 Abs. 1 Nr. 1 UVPG)?}     B1[Keine UVP-Pflicht]     D2{Art der Kennzeichnung in Anlage 1 UVPG?}     B2[Einzelfallprüfung nach § 7 Abs. 1 UVPG]     B3[UVP-Pflicht]      D1 -- nein --&gt; B1     D1 -- ja --&gt; D2     D2 -- „A“ in Sp. 2 --&gt; B2     D2 -- „X“ in Sp. 1 --&gt; B3     </pre> <p><b>Scoping</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Untersuchungsrahmen festlegen</li> <li>▶ Unterrichten über den Untersuchungsrahmen nach § 15 UVPG</li> </ul>
<b>Raumanalyse</b>	Ermitteln, Beschreiben und Bewerten der Schutzgüter nach § 2 UVPG Aggregation der Betrachtung der Schutzgüter Bestimmen konfliktarmer Korridore
<b>Übergreifender Arbeitsschritt</b>	Unterstützen der Trassenfindung verschiedener Varianten
<b>Auswirkungsprognose</b>	„Ermitteln, Beschreiben und fachliches Bewerten der Umweltauswirkungen“ (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN Ausgabe 2001)
<b>Variantenvergleich</b>	„Schutzgutübergreifende Betrachtung der Varianten“ (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN Ausgabe 2001)

Abbildung 53 zeigt das Beispiel eines Übersichtsplans der Varianten im Rahmen der Vorplanung.



Abbildung 53: Beispiel für einen Übersichtsplan der Varianten im Rahmen der Vorplanung (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG).

Als Ergebnis der Voruntersuchungen wird die **Vorzugsvariante** für die Berücksichtigung in der nachfolgenden Stufe der Entwurfsplanung ausgewählt (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2012).

### 5.5.6 Entwurfsplanung

In der Stufe der **Entwurfsplanung** wird nach den „Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (RE)“ der Vorentwurf erarbeitet. Dies erfolgt „in der Regel nur noch für die in der Vorplanung ermittelte Vorzugsvariante“ (RICHTER 2016).

Das Ergebnis ist der **Vorentwurf** – die Konkretisierung des Vorhabens u.a. im Lage- und Höhenplan. Die Struktur der Unterlagen ist durch die RE geregelt und umfassen:

Teil A – Vorhabensbeschreibung

- Erläuterungsbericht

Teil B – Planteil

- Übersichtskarte, Übersichtslage- und Höhenpläne
- Lage- und Höhenpläne
- Lagepläne der Immissionsschutz- und Entwässerungsmaßnahmen
- Landschaftspflegerische Maßnahmen
- Widmung/Umstufung/Einziehung
- Kostenermittlung

Teil C – Untersuchungen, weitere Pläne, Skizzen

- Straßenquerschnitt

- Bauwerksskizzen
- Sonstige Pläne
- Immissionstechnische Untersuchungen
- Wassertechnische Untersuchungen
- Umweltfachliche Untersuchungen
- Geotechnische Untersuchungen
- Sonstige Gutachten

Teil D – Nachweise

- Verkehrsqualität
- Verkehrssicherheit
- Wirtschaftlichkeit

Die Abbildung 54 zeigt einen Ausschnitt aus dem Übersichtslageplan der A 643 bei Mainz Gonsenheim.

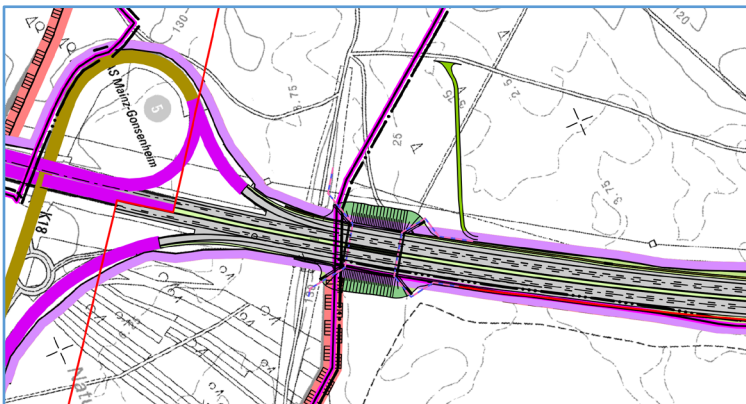


Abbildung 54: Ausschnitt Übersichtslageplan A 643 bei Mainz (STRAßENBAUVERWALTUNG RHEINLAND PFALZ).

### 5.5.7 Genehmigungplanung:

Nach § 75 Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) wird „[d]urch die Planfeststellung [...] die Zulässigkeit des Vorhabens einschließlich der

notwendigen Folgemaßnahmen an anderen Anlagen im Hinblick auf alle von ihm berührten öffentlichen Belange festgestellt“.

Die Genehmigungsplanung bildet demnach die „Grundlage für die Gesamtabwägung aller öffentlich-rechtlichen und privaten Belange im Planfeststellungsverfahren und für die Regelung von Grunderwerbs- und Entschädigungsfragen“ (RICHTER 2016).

### 5.5.8 Ausführungsplanung

Der Bauentwurf hat die Aufgabe, eine ausführungsfähige Planung der Bauaufgabe zu entwickeln. Im Gegensatz zu den Planungsstufen der Vorplanung, Entwurfsplanung und Genehmigungsplanung ist diese Planungsstufe nicht nach RE geregelt (vgl. BRACHER & BÖSL 2017, BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2012). Je nach Erfordernis werden die Dokumente aus den vorgegangenen Planungsstufen um weitere Unterlagen ergänzt (vgl. RICHTER 2016).

### 5.5.9 Analyse und Diskussion der Planungsprozesse

In Abschnitt 5.5.1 sowie Abbildung 47 wurde auf den Zusammenhang zwischen den Planungsprozessen, dem sozialen System der Planenden und der Transformation des Systems *SuL* als Planungsgegenstand hingewiesen – und damit auf die strukturelle Kopplung zwischen dem *P*- und dem *SuL*-System (Abbildung 6). Das übergeordnete Ziel des Forschungsvorhabens lautet, einen Umgang mit der Komplexität naturschutzrelevanter Verkehrsinfrastrukturprojekte zu identifizieren, welcher den Projekterfolg der Systemtransformation optimiert. Die einzelnen Teilprozesse des gestuften Planungsprozesses gliedern sich in verschiedene Unterprozesse, welche sich wiederum in ein-

zelne Entitäten dekomponieren lassen. Bei einer gleichzeitigen Vielzahl von Entitäten und Wirkbeziehungen spricht man von einem komplexen System (vgl. HABERFELLNER 2012, CRAWLEY et al. 2016).

Es soll daher analysiert werden, welche Teilbereiche des Prozesses durch ihre Wirkung auf das System *SuL* einen maßgeblichen Beitrag zur vorgenannten strukturellen Kopplung leisten, um die Dekomposition des Systems *SuL* zeitlich in diesen Teilprozessen zu verorten, mit dem Zweck der Optimierung des Systemtransformationserfolgs.

In den RE wird darauf hingewiesen dass „[m]it der [...] rechtlich vorgeschriebenen Prüfung der Umweltverträglichkeit und weiteren Prüfungen zum Arten- und Gebietsschutz [...] das Ziel verfolgt [wird], Konflikte zu vermeiden, die eine Zulassung der gewählten Linie in Frage stellen würden“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2012). Diese Konflikte können erstens den zeitlichen Verlauf der Projekte empfindlich stören und zweitens Kostenerhöhungen zur Folge haben (vgl. MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. 2020, FLYVBER ET AL. 2004, FLYVBJERG 2017, BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015)

Dieser Zusammenhang wird in der Literatur häufig als *MacLeamy-Kurve* in ähnlichem Kontext verwendet: Werden wichtige Stakeholder, Schnittstellen oder Informationen erst spät im Projekt berücksichtigt, dann besteht kaum noch die Möglichkeit, die Kosten oder die Funktion zu beeinflussen (vgl. RUMANE 2019, MACLEAMY 2020, JOHNSON 2017).

In Abbildung 55 wird die MacLeamy-Kurve auf die Beeinflussbarkeit und den Aufwand für Änderungen des Systemverhaltens in Abhängigkeit von der Zeit adaptiert.

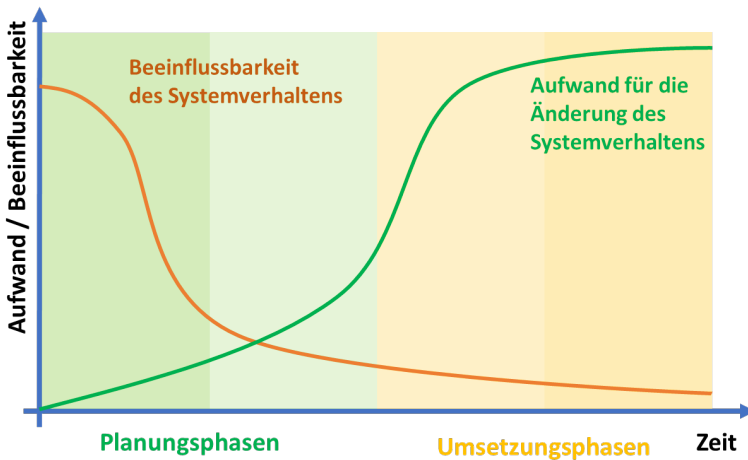


Abbildung 55: Zeitliche Abhängigkeit von Aufwand und Beeinflussbarkeit des Systemverhaltens (eigene Darstellung nach (RUMANE 2019, MACLEAMY 2020, JOHNSON 2017)).

Insbesondere der Zusammenhang zwischen der zeitlichen Dynamik und den Kosten kommt eine besondere Bedeutung in Zeiten starker Entwicklung der Baukosten zu. Das Statistische Bundesamt hat im Zeitraum zwischen 2011 und 2020 für den Straßenbau eine Preissteigerung von 29,1 % und für den Brückenbau von 24,1 % ermittelt (vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT 11.01.2022). In Abbildung 56 ist die Preissteigerung in einer Zeitreihe visualisiert.



**Baupreisindizes für Straßenbau und Brückenbau**  
einschl. Umsatzsteuer; Jahresdurchschnittswerte; 2015 = 100

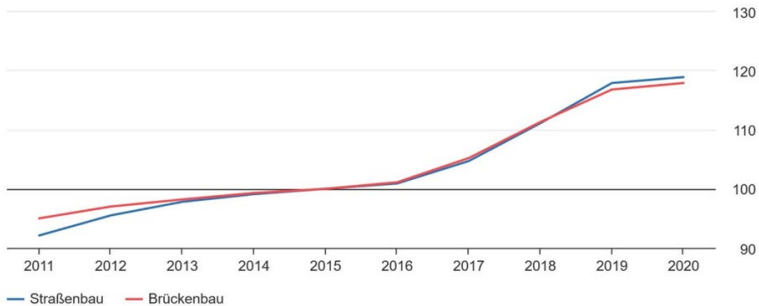


Abbildung 56: Baupreisindizes für den Straßen- und Brückenbau (STATISTISCHES BUNDESAMT 11.01.2022).

Aus den bisherigen Ergebnissen lassen sich die folgenden **Merkmale** der für die weiteren Untersuchungen zu identifizierenden relevanten Teilprozesse ableiten, um das Forschungsziel zu unterstützen:

1. Die Akteur:innen des *P-Systems* sind am jeweiligen Teilprozess beteiligt und gestalten die Planung einzelner Vorhaben auf der Grundlage dieser Teilprozesse.
2. Die Teilprozesse greifen in das Ordnungssystem des Systems *SuL* ein.
3. Die Planungen des *P-Systems* entfalten über die Teilprozesse eine möglichst frühzeitige Wirkung von Veränderungen auf das System *SuL*.
4. Die Teilprozesse bilden einen Teil des Ordnungsprinzips des sozialen Systems der Planenden.
5. Die Teilprozesse sind Teil des rechtlichen Funktionssystems und bilden damit eine Sichtweise auf das Gesellschaftssystem.
6. Sie sind heteronom und können daher als Ordnungsprinzip sozialer Systeme verändert werden.

Die einzelnen Stufen des Planungsprozesses werden auf die Erfüllung **der vorgenannten Merkmale** untersucht und bewertet (Tabelle 27).

*Tabelle 27: Erfüllung der Stufen des Planungsprozesses auf die vorgenannten Merkmale optimierungswürdiger Teilprozesse.*

Merkmale (siehe Legende)		1	2	3	4	5	6
RIN	Verkehrsplannung	0	0	++	0	+	+
	Bedarfsplanung	0	0	0	0	+	+
	<b>Vorplanung</b>	+++	+++	+++	+	+	+
	Entwurfsplanung	+++	+++	+	+	+	+
	Genehmigungsplanung	+++	+++	+	+	+	+
	Ausführungsplanung	+++	+++	+	+	+	+
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Akteur:innen des P-Systems sind am jeweiligen Teilprozess beteiligt und gestalten die Planung einzelner Vorhaben auf der Grundlage dieser Teilprozesse.</li> <li>2. Die Teilprozesse greifen in das Ordnungssystem des Systems SuL ein.</li> <li>3. Die Planungen des P-Systems entfalten über die Teilprozesse eine möglichst frühzeitige Wirkung von Veränderungen auf das System SuL.</li> <li>4. Die Teilprozesse bilden einen Teil des Ordnungsprinzips des sozialen Systems der Planenden.</li> <li>5. Die Teilprozesse sind Teil des rechtlichen Funktionssystems und bilden damit eine Sichtweise auf das Gesellschaftssystem.</li> <li>6. Sie sind heteronom und können daher als Ordnungsprinzip sozialer Systeme verändert werden.</li> </ol>							

Die Überprüfung der Erfüllung der Merkmale nach Tabelle 27 zeigt folgendes auf:

- Erst ab der Stufe der Vorplanung werden einzelne Vorhaben gestaltet.
- Nach der Stufe der Vorplanung ist das Ordnungsprinzip des Systems bestimmt.
- Die Merkmale 5 und 6 treffen für alle Stufen gleichermaßen zu.
- Die Vorplanung hat gegenüber den nachfolgenden Stufen den entschiedenen Vorteil einer früheren Beeinflussbarkeit der Wirkungen des Vorhabens.

Daraus kann gefolgert werden, dass die Stufe der Vorplanung die Grundlage weiterer Überlegungen bilden sollte, da in dieser Phase die Systemstruktur und die Umweltverträglichkeit entscheidend beeinflusst werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass Entscheidungen in dieser Stufe einen maßgeblichen Eingriff auf die Prozesse und Ordnungsprinzipien der Systemdimensionen im System *SuL* darstellen. Diese Entscheidungen sind bedeutsam für die Wirkungen auf Natur und Umwelt und damit auf Erfolg und Misserfolg der gesamten Transformation. Die folgende **Argumentation** vertieft den Blick auf die Wechselwirkungen nach § 2 UVPG:

- Wenn das Ordnungsprinzip, auf dessen Basis die Prozesse im System verlaufen, bereits in dieser Phase weitgehend festgelegt wird und
- die Möglichkeiten der Einflussnahme auf den Planungsgegenstand und damit auf die Kosten mit dem Verlauf der Planung bei gleichzeitiger Erhöhung der Baukosten abnehmen,
- *SuLT* ein dynamisch komplexes System ist, in welchem Änderungen von Parametern aufgrund der Wechselwirkungen mit zeitlichem Verzug zu einem nicht vorhersehbaren Systemverhalten führen können,

- gemäß § 2 UVPG die Auswirkungen des Vorhabens auf das Schutzgut Wechselwirkungen zu berücksichtigen sind und
- eben diese Wechselwirkungen in der Vergangenheit nur in unzureichendem Maße berücksichtigt wurden,

dann lässt sich in der Berücksichtigung der Wechselwirkungen im Rahmen von Umweltverträglichkeitsstudien als umweltfachlicher Beitrag der Stufe der Vorplanung ein besonders wichtiger Untersuchungs- und Lösungsbereich für die Optimierung der Planungsprozesse identifizieren.

Daraus wird der in Abbildung 57 dargestellte Zusammenhang zwischen der Berücksichtigung der Wechselwirkungen nach § 2 UVPG über die Stufe der Vorplanung und dem Zulassungsverfahren bis zum System SuL abgeleitet.

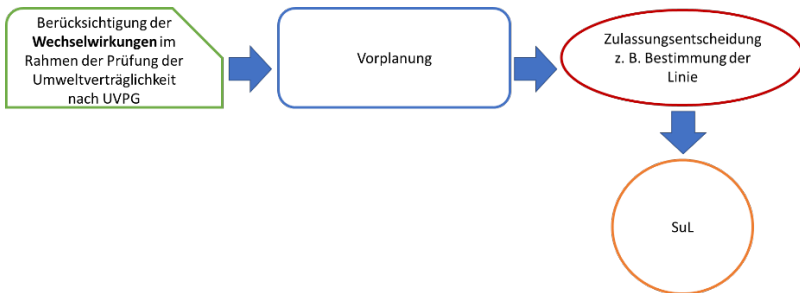
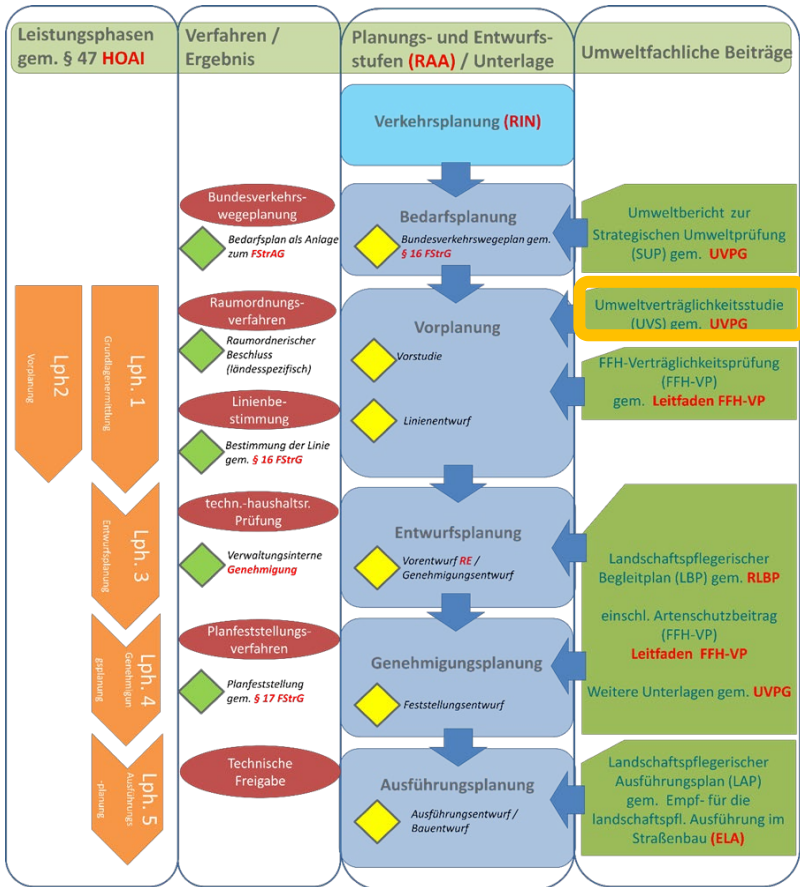


Abbildung 57: Wirkzusammenhang zwischen Berücksichtigung der Wechselwirkungen und Wirkung auf das System SuL (eigene Abbildung).

Abbildung 58 zeigt die Stellung des Untersuchungs- und Lösungsbereiches innerhalb des gestuften Prozesses der Straßenplanung in Deutschland.



Legende:



Abhängigkeiten



Unterlagen



Ergebnisse



Untersuchungs- und Lösungsbereich

Abbildung 58: Gestufter Prozess der Straßenplanung (geändert nach MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. (2020)).

## 5.5.10 Dekomposition der Planungsprozesse

Diese Planungsprozesse können in die in Abbildung 59 gezeigten Entitäten dekomponiert werden.

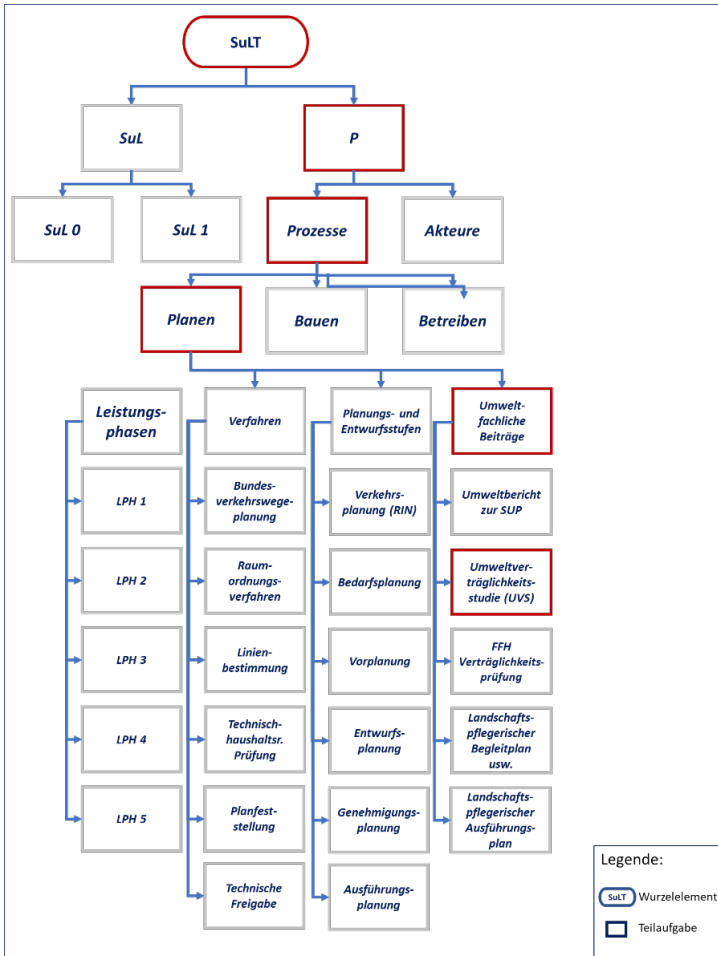


Abbildung 59 Dekomposition der gestuften Planungsprozesse mit Markierung des Lösungsbereichs in Rot (eigene Darstellung).

### 5.5.11 Zwischenfazit und Ausblick

Das P-System kann in die Entitäten Prozess und Akteur:innen dekomponiert werden. Da die Prozesse das Ordnungsprinzip des sozialen

Systems der Planenden bilden und diese durch ihr planerisches Handeln das System *SuL* als Planungsgegenstand gestalten, werden nachfolgend die Planungsprozesse vertiefend untersucht.

### **Ergebnis der Analyse der Planungsprozesse**

Die Prozesse lassen sich in Leistungsphasen, Verfahren, Planungs- und Entwurfsstufen sowie umweltfachliche Beiträge dekomponieren.

Die RIN Verkehrsplanung bewegt sich in einem hypothetischen Bereich und bietet lediglich einen Möglichkeitsraum potentieller Umsetzungen, wohingegen in der Bedarfsplanung festgelegt wird, dass einzelne Strecken tatsächlich als Vorhaben abgewickelt werden. Dennoch sind die Festlegungen in der RIN Verkehrsplanung für diejenigen Vorhaben, welche später realisiert werden, bedeutsam für verschiedene Trassierungsparameter oder Kennzahlen wie Querschnitt, Mindestradien und Verkehrsstärke.

Der Abschluss der Vorplanung als Planungsstufe bedeutet für das System *SuL* eine Veränderung des Ordnungsprinzips. Damit verbunden ist die Notwendigkeit, die Auswirkungen des Vorhabens im Rahmen des unselbstständigen Verfahrens der Prüfung der Umweltverträglichkeit nach UVPG zu prüfen. Aus systemischer Sicht gewinnt die Berücksichtigung der Auswirkungen des Vorhabens auf die Wechselwirkungen nach § 2 UVPG eine hervorgehobene Bedeutung. In der Analyse der Planungsprozesse rückt insbesondere die Umsetzung des § 2 UVPG als Lösungsbereich in den Fokus weiterer Betrachtungen.

Im Ausblick soll die praktische Anwendung des § 2 UVPG im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVS) untersucht werden, um zu überprüfen, in welchem Maße die Wechselwirkungen betrachtet werden. Gerade die Wechselwirkungen sind es, welche aus einer Viel-

zahl von Entitäten ein System schaffen, welches emergente Eigenschaften besitzt, also ein Verhalten zeigt, welches aus den Einzelteilen heraus nicht vorhersehbar ist (vgl. CRAWLEY et al. 2016, MAIER 2009, HABERFELLNER 2012). Diese emergenten Eigenschaften können gewünschte und/oder ungewünschte Wirkungen hervorrufen (vgl. CRAWLEY et al. 2016). Zudem können die Wirkungen verzögert auftreten. Werden die Wechselwirkungen nicht untersucht, dann werden emergente Eigenschaften und deren negativen Wirkungen in der Planung und Abwägung nicht berücksichtigt. Sie treten am realen System jedoch auf.

Mithin ist anzumerken, dass die Schutzgüter nach § 2 UVPG nicht alle Systemdimensionen des *SuL*-Systems einbeziehen (vgl. Tabelle 16). Es ist daher als wahrscheinlich anzusehen, dass die Entscheider:innen nicht die Ausprägung aller relevanten Entscheidungskriterien kennen können. Es ist zwar anzunehmen, dass sie sich ein Wahrscheinlichkeitsurteil aufgrund ihrer Erfahrung mit vorangegangenen Entscheidungen bilden können, dass dieses aber aufgrund der Nicht-Linearität des dynamisch komplexen Systems *SuL* auf der Grundlage unvollständiger Informationen geschieht.

RITTEL (2013) sieht die Lösung eines Problems nicht als den Abschluss des Problemlösungsprozesses, sondern nur als eine Zwischenstation, da jede Lösung gleichermaßen zur Ursache neuer Probleme wird. Dies kann durch lineares Denken nicht aufgelöst, durch systemisches Denken aber zumindest in die Überlegungen mit einbezogen werden.

Es kann vermutet werden, dass Wechselwirkungen in der Praxis nicht systemisch berücksichtigt werden. Ferner ist beachtenswert, dass durch die Regelungen des UVPG die Auswirkungen des Vorhabens auf die Wechselwirkungen und nicht umgekehrt berücksichtigt werden. Hieraus kann ein weiterer Forschungsbedarf abgeleitet werden. Daher wird die Berücksichtigung des Schutzguts Wechselwirkungen im folgenden Kapitel näher betrachtet.



## 5.6 Studie zur Umsetzung der Berücksichtigung des Schutzgutes Wechselwirkungen nach § 2 Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) in der Praxis

### 5.6.1 Einleitung und Ziel der Untersuchung

Gemäß § 3 UVPG „umfassen [Umweltprüfungen] die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der erheblichen Auswirkungen eines Vorhabens oder eines Plans oder Programms auf Schutzgüter“. Schutzgüter sind gem. § 2 UVPG

- „1. Menschen, insbesondere die menschliche Gesundheit,
2. Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt,
3. Fläche, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,
4. kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter sowie
5. die Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern“.

Gerade die Wechselwirkungen sind eine Quelle für die Dynamik und damit auch der Komplexität von Systemen (vgl. DUCHARDT et al. 2019, HABERFELLNER 2012).

Die *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausführung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPVwV)* konkretisiert, in welcher Form die Wechselwirkungen zu berücksichtigen sind:

*Da eine quantitative Gesamtbewertung von Umweltauswirkungen mangels Verrechnungseinheiten grundsätzlich unmöglich ist, beruht eine medienübergreifende Bewertung von Umweltauswirkungen auf qualitativen Gesichtspunkten, die zueinander in Beziehung zu setzen sind. Ein bloßes Aneinanderreihen einzelner medialer Bewertungen der Umweltauswirkungen reicht nicht aus (Nr. 0.6.2.1 UVPVwV).*

Die Umweltauswirkungen eines Vorhabens sind demnach qualitativ und medienübergreifend zu betrachten. PETERS et al. (2019) sowie HOPPE & APPOLD (2018) erkennen in der Umwelt ein eigenes Gut, welches mehr als die Summe ihrer Schutzgüter darstellt.

## Defizite bei der Berücksichtigung von Wechselwirkungen

Im Abschlussbericht zum Vorhaben „Evaluation des UVPG des Bundes“ über die „Auswirkungen des UVPG auf den Vollzug des Umweltrechts und die Durchführung von Zulassungsverfahren für Industrieanlagen und Infrastrukturmaßnahmen“ wurden „[b]esondere Defizite [...] in der integrativen Bearbeitung der Umweltauswirkungen im Sinne einer güter- und medienübergreifenden Behandlung bzw. der Berücksichtigung von Wechselwirkungen [...festgestellt]“ (BMUV.DE 12.04.2022).

Die UVPVwV beschreibt die Auswirkungen durch ihre Ursachen, Folgen, Zeitpunkt und Dauer, Reversibilität und Stabilitätswirkung für die Umwelt:

*Auswirkungen auf die Umwelt im Sinne des § 2 Abs. 1 Satz 2 UVPG sind Veränderungen der menschlichen Gesundheit oder der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit einzelner Bestandteile der Umwelt oder der Umwelt insgesamt, die von einem Vorhaben im Sinne der Anlage zu § 3 UVPG verursacht werden. Auswirkungen auf die Umwelt können je nach den Umständen des Einzelfalls*

- a) durch Einzelursachen, Ursachenketten oder durch das Zusammenwirken mehrerer Ursachen herbeigeführt werden,*
- b) Folgen insbesondere der Errichtung oder des bestimmungsgemäßen Betriebes eines Vorhabens sein, ferner Fol-*

*gen von Betriebsstörungen oder von Stör- oder Unfällen, soweit eine Anlage hierfür auszulegen ist oder hierfür vorsorglich Schutzvorkehrungen vorzusehen sind,*

- c) kurz-, mittel- oder langfristig auftreten,*
- d) ständig oder nur vorübergehend vorhanden sein,*
- e) aufhebbar (reversibel) oder nicht aufhebbar (irreversibel) sein und*
- f) positiv oder negativ – das heißt systemfördernd (funktional) oder systembeeinträchtigend (disfunktional) – sein“ (UVPVwV Nr. 0.3).*

Daraus lässt sich die Notwendigkeit einer systemischen Betrachtungsweise eines komplexen Systems ableiten, welche durch miteinander verbundene Entitäten und dynamisches Verhalten gekennzeichnet ist (vgl. HABERFELLNER 2012, CRAWLEY et al. 2016, DUCHARDT et al. 2019).

### *Ziele der Untersuchung*

Wenn einerseits eine systemische Betrachtungsweise der Auswirkungen auf die Umwelt als Ganzes durch ein Vorhaben gefordert ist und diese Auswirkungen qualitativ und übergreifend beurteilt werden sollen, und andererseits im Jahr 2008 Defizite im Rahmen der Evaluation des UVPG des Bundes über die Auswirkungen des UVPG auf den Vollzug des Umweltrechts und die Durchführung von Zulassungsverfahren für Industrieanlagen und Infrastrukturmaßnahmen festgestellt wurden, dann stellt sich die Frage, ob spätere, nach der Veröffentlichung der Evaluationsergebnisse durchgeführte Umweltverträglichkeitsstudien weiterhin Defizite aufweisen.

Ziel der hier nachfolgend dargestellten Untersuchung soll es daher sein, Umweltverträglichkeitsstudien auf deren güter- und medienübergreifende Behandlung von Wechselwirkungen zu untersuchen. Dabei

sollen ggf. vorhandene Schwachstellen erkannt und daraus Vorschläge zur Verbesserung abgeleitet werden.

## 5.6.2 Material und Methode

### Methode

Wenn die Berücksichtigung der Wechselwirkungen bei der Ermittlung der Auswirkungen auf die Umwelt defizitär behandelt werden, dies jedoch in § 2 UVPG gefordert ist, dann lässt sich daraus auch ein Defizit in der Gesetzesanwendung ableiten. Aus diesem Defizit in der Gesetzesanwendung können negative Folgen für die Umwelt und damit für das System *SuL* erwachsen. Die Aufgabe der Gesetzesfolgenforschung besteht darin, „die Wirkungen politischer Gestaltungsoptionen abzuschätzen“ (BIZER et al. 2002). Dies kann mittels einer retrospektiven Gesetzesfolgenabschätzung überprüft werden (vgl. HENSEL et al. 2010).

Die Evaluation der Wechselwirkungen in der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) orientiert sich an der **retrospektiven Gesetzesfolgenabschätzung** und lehnt sich damit methodisch an der Evaluation von 2008 an. Damit soll die Einordnung der Ergebnisse in den übergeordneten Kontext erleichtert werden.

Durch die Evaluation soll geprüft werden, ob das Ziel der medienübergreifenden Bewertung der Auswirkungen eines Vorhabens durch die Anwendung des § 2 UVPG bei Straßenverkehrsinfrastrukturvorhaben erreicht werden kann. Ziel der Evaluation soll es nicht sein, die Folgen der Rechtsvorschrift zu evaluieren.

Bei der Überprüfung des Erfolgs einer Rechtsvorschrift wird empfohlen, die Interdependenzen zwischen dem Zweck der Rechtsvorschrift (oder Teile derselben) und den Maßnahmen aufzuzeigen. Ebenso soll ein Bewertungswerkzeug ermittelt werden, anhand dessen die Daten beurteilt werden können. Zunächst sollen die genannten Interdependenzen erarbeitet und der Umfang der Evaluierung festgelegt werden.

Ferner soll die Hypothese im Zusammenhang mit dem Bewertungswerkzeug formuliert werden (vgl. BÖHRET & KONZENDORF 2001, VEIT et al. 2019).

## Hypothese

Es wird im Rahmen dieser Studie davon ausgegangen, dass die Auswirkungen eines Vorhabens auf das Schutzgut Wechselwirkungen nach § 2 UVPG nicht systemisch erfasst werden.

Die Erfassung im Sinne dieser Ausarbeitung wird als **systemisch** angesehen, wenn sie in Anlehnung an Nr. 3 UVPVwV neben den direkten auch indirekte Wirkungen und Wirkketten erfasst, die zeitliche Dynamik und die Wechselwirkung zwischen allen Schutzgütern nach § 2 UVPG berücksichtigt und deren Wirkung auf das System beschreibt.

## Interdependenzen zwischen dem Zweck und den Maßnahmen

In der UVS stehen die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen eines Vorhabens auf die Schutzgüter im Vordergrund. Durch die Aufnahme der Wechselwirkungen als ein eigenständiges Schutzgut, kann abgeleitet werden, dass die Umwelt als Ganzes systemisch zu betrachten ist (vgl. HOPPE & APPOLD 2018).

Der Zweck der Analyse der Wechselwirkungen kann folglich als die systemische Betrachtung der Umwelt angesehen werden.

Der Zweck des Gesetzes wurde in § 3 wie folgt dargelegt:

### *§ 3 Grundsätze für Umweltprüfungen*

*Umweltprüfungen umfassen die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der erheblichen Auswirkungen eines Vorhabens oder eines Plans oder Programms auf die Schutzgüter. Sie dienen einer wirksamen Umweltvorsorge nach Maßgabe*

*der geltenden Gesetze und werden nach einheitlichen Grundsätzen sowie unter Beteiligung der Öffentlichkeit durchgeführt.*

Die Betrachtung der Auswirkungen auf die Schutzgüter werden im UVPVwV Nr. 0.3 konkretisiert:

*„Auswirkungen auf die Umwelt im Sinne des § 2 Abs. 1 Satz 2 UVPG [...sind] Veränderungen der menschlichen Gesundheit oder der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit einzelner Bestandteile der Umwelt oder der Umwelt insgesamt, die von einem Vorhaben im Sinne der Anlage zu § 3 UVPG verursacht werden“ (UVPVwV Nr. 0.3).*

Die nachfolgende Systematik wurde zwecks Bewertung der in der Praxis üblichen Betrachtung der Wechselwirkungen nach § 2 Abs. 1 Nr. 5 UVPG vorgenommen:

- Berücksichtigung der Auswirkungen des Vorhabens auf das Schutzgut Wechselwirkungen (berücksichtigt oder vernachlässigt?);
- Umfang der Berücksichtigung von Wechselwirkungen (umfassend oder teilweise?);
- Berücksichtigung direkter und indirekter Wechselwirkungen (indirekte oder direkte?);
- systemische Berücksichtigung (umfassend, indirekt, dynamisch und die Wirkung auf das System betrachtend?).

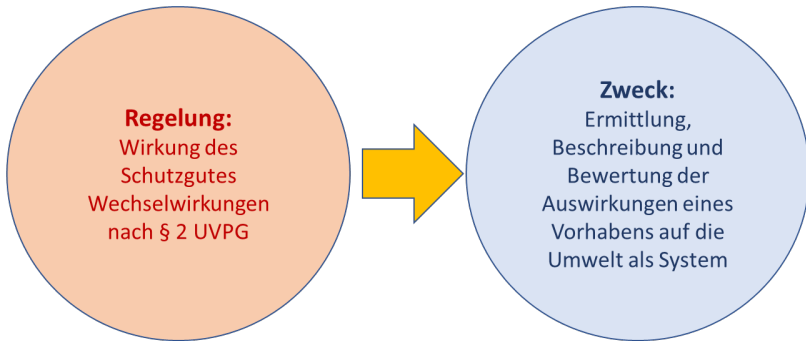
Für den Bau und die Änderung von Bundesfernstraßen hat die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) das Merkblatt zur Umweltverträglichkeitsstudie in der Straßenplanung (M UVS) herausgegeben. Nach Absatz 3.1.1 dieses Merkblattes soll eine Raumanalyse mit den folgenden Schritten erfolgen:

- *Ermitteln, Beschreiben und fachliches Bewerten der Schutzgüter nach § 2 Abs. 1 UVPG und der jeweiligen Wechselwirkungen,*
- *Ermitteln und Darstellen von Bereichen unterschiedlicher Konfliktdichte und von Konfliktschwerpunkten*

(vgl. FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN Ausgabe 2001). „Dies geschieht [nach Abschnitt 3.3.2 M UVS] durch eine Zusammenschau der beteiligten Schutzgüter und Schutzgutfunktionen“ (vgl. FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN Ausgabe 2001). Diese Zusammenschau wird kartographisch abgebildet. Dazu werden die Flächenfunktionen einzelner Schutzgüter überlagert und in einer Karte zu einer Darstellung konfliktarmer Korridore mit dem Zweck der Findung geeigneter Trassen im Untersuchungsraum aggregiert (vgl. BRACHER & BÖSL 2017).

**Kritisch ist jedoch anzumerken, dass diese grafische Überlagerung und die bloße Suche nach konfliktarmen Korridoren weder die Wechselwirkungen, noch die Wirkung unerwünschter Emergenz berücksichtigt.**

Die o.g. Systematik lässt sich in das in Abbildung 60 dargestellte Wirkungsmodell integrieren, welches die Interdependenzen zwischen dem Zweck der gesetzlichen Regelung der Wechselwirkungen nach § 2 UVPG und den geregelten Maßnahmen zeigt. Das Wirkmodell bildet die Basis für die Bewertungskriterien im Rahmen der Evaluation.



### Frage:

Wird der § 2 UVP in der Praxis und mit dem vorhandenen Instrumentarium so umgesetzt, dass der Zweck der gesetzlichen Regelung erfüllt werden kann?

### Bemessungsinstrumente:

- Berücksichtigung der **Auswirkungen** des Vorhabens auf das Schutzgut Wechselwirkungen
- Berücksichtigung **aller** oder nur **ausgewählter** Wechselwirkungen
- Berücksichtigung **direkter** und **indirekter** Wechselwirkungen
- **Systemische** Berücksichtigung aller direkten und indirekten Wechselwirkungen

Abbildung 60: Wirkungsmodell des Schutzgutes Wechselwirkungen nach § 2 UVPG (eigene Darstellung).

### Material

In Abgrenzung zur Evaluation des UVPG aus dem Jahr 2008 sollten nur Datensätze aus dem Zeitraum nach 2008 evaluiert werden.

Schwierig stellte sich in diesem Zusammenhang die Beschaffung der notwendigen Dokumente über den gesamten Zeitraum dar, da erst durch das am 29.07.2017 in Kraft getretene Gesetz zur Modernisie-



rung des Rechts der Umweltverträglichkeitsprüfung die Zugänglich-  
machung der UVP-Unterlagen über zentrale Internetportale in § 20  
UVPG normiert wurde.

Es kann angenommen werden, dass einerseits zwar der Aufbau und  
Betrieb der Portale nicht unmittelbar nach dem in Kraft treten des  
UVP-Modernisierungsgesetzes abgeschlossen war, andererseits  
aber die Daten ab Inkrafttreten des Gesetzes nachträglich in den Por-  
talen zugänglich gemacht wurden. **Es kann zwar nicht mit Sicher-  
heit davon ausgegangen werden, dass es sich um eine Vollerhe-  
bung handelt. Dennoch kann unterstellt werden, dass die Stich-  
probengröße ausreichend repräsentativ ist.**

In einem ersten Schritt wurde auf die im Bundes- und in den Länder-  
portalen öffentlich zugänglichen Datensätze zugegriffen. In § 20 Abs.  
1 UVPG wird geregelt, dass „[d]ie Zugänglichmachung [...] im zentra-  
len Internetportal des Bundes [erfolgt], wenn die Zulassungsbehörde  
eine Bundesbehörde ist“. Für Umweltverträglichkeitsstudien in der Zu-  
ständigkeit der Länder richten nach § 20 Abs. 1 UVPG auch die Län-  
der entsprechende Portale ein welche mit dem zentralen Internetpor-  
tal des Bundes verlinkt wurden.

Die Auswahl der Projekte erfolgte über die jeweiligen Filteroptionen  
der Portale nach den folgenden Kriterien:

- ▶ Kategorie Verkehrsvorhaben
- ▶ Zugehörigkeit zu einem der Kriterien als Bundesfernstraße,  
Autobahn oder Brückenbauwerk
- ▶ Zeitraum zwischen dem 29.07.2017 und dem 01.03.2021

Die Auswahl der Projekte fand zum Stichtag 01.03.2021 statt. Unter  
den 565 Ergebnissen der Kategorie „Verkehrsvorhaben“ erfüllten 54  
(n=54) Datensätze die Filterkriterien (siehe Anhang 8.1).

### 5.6.3 Datenerhebung

Zur Erfassung der für die Evaluation benötigten Daten wird als Erhebungsinstrument ein hierfür entwickelter Basisdaten- und Zielerreichungsbogen verwendet.

Darin werden zunächst die folgenden Basisdaten erfasst:

- ▶ laufende Nr.
- ▶ Projekttitle
- ▶ Datum der Unterlage
- ▶ Auftraggeber
- ▶ Bearbeitung
- ▶ Bundesland
- ▶ Projektleitung

Diese Angaben werden aus den in den Portalen zugänglichen Daten zu den Vorhaben gewonnen.

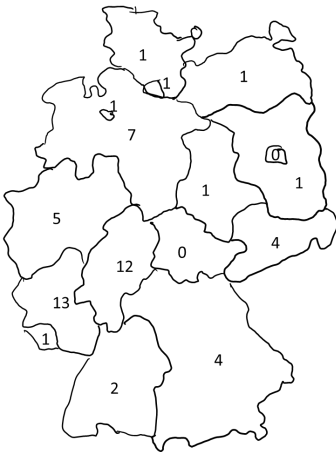
Auf der Grundlage der Bemessungsinstrumente des Wirkungsmodells prüfen die Evaluierenden anhand des Wirkungsmodells und der erfassten Daten, inwiefern die folgenden Aussagen zutreffen:

- Es wurden Auswirkungen des Vorhabens auf das Schutzgut Wechselwirkungen nach § 2 UVPG dokumentiert.
- Es wurden alle oder nur ausgesuchte Wechselwirkungen zwischen den Schutzgütern dokumentiert.
- Es wurden neben direkten auch die indirekten Wechselwirkungen dokumentiert.
- Es wurden unter systemischen Gesichtspunkten alle direkten und indirekten Wechselwirkungen aller Schutzgüter nach § 2 UVPG dokumentiert.

Die Vorgehensweise erfolgt in einer chronologischen Reihenfolge. Im Vergleich zur Studie des Jahres 2008 legt diese Studie den Fokus auf

die systemische Behandlung, weshalb insbesondere auf die indirekten Wechselwirkungen abgestellt wird. Die Abbildung 61 zeigt die Zahl der analysierten UVS je Bundesland.

Das Untersuchungsdesign wurde nach den durchgeführten Pretests leicht angepasst.



*Abbildung 61: Verteilung der ausgewerteten UVS nach Bundesländern (eigene Darstellung).*

#### 5.6.4 Ergebnisse und Bezugnahme auf die Evaluationsergebnisse des Jahres 2008

Die Ergebnisse der Evaluation stützen sich auf die Auswertung des Basisdaten- und Zielerreichungsbogens unter Berücksichtigung der im Wirkungsmodell genannten Kriterien. Auf die Evaluationsergebnisse des Jahres 2008 wird bezuggenommen. Ein direkter Vergleich ist jedoch nur bedingt möglich, da nicht dieselben Fragen gestellt wurden.

#### Betrachtung der Wechselwirkungen

In der aktuellen Studie wurden in 78 % der Fälle Wechselwirkungen betrachtet (Abbildung 62). Daraus lässt sich nicht ableiten, wie umfangreich die Wechselwirkungen tatsächlich beachtet wurden. Dennoch zeigt sich hier ein deutlicher Unterschied gegenüber der Studie

aus dem Jahr 2008, in welcher angemerkt wurde, dass „[d]ie Wechselwirkungen [...] nur in einzelnen Fällen überhaupt angesprochen [wurden]“ (BMUV.DE 12.04.2022).

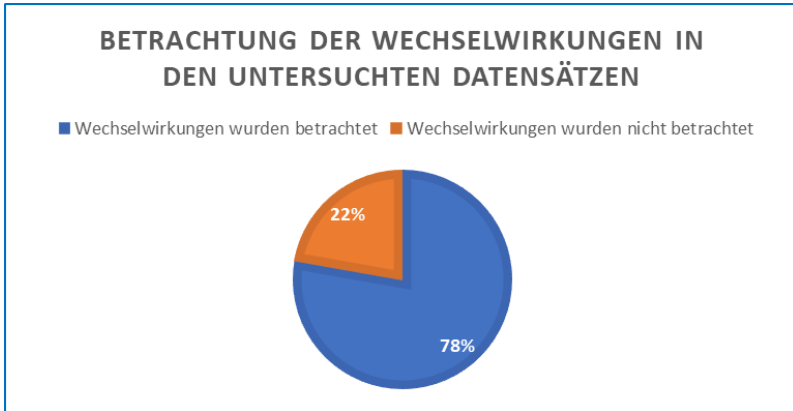


Abbildung 62: Betrachtung der Wechselwirkungen (eigene Darstellung).

Ein anderes Bild ergibt sich bei der Bewertung des **Umfangs der Berücksichtigung**. Hier wurde geprüft, ob die Wechselwirkungen vollständig, teilweise oder gar nicht betrachtet wurden. Es zeigt sich, dass in nur 11 % der Fälle die Wechselwirkungen vollständig betrachtet wurden. In 67 % der Fälle geschah dies nur teilweise und in 22 % gar nicht (Abbildung 63).

Im Vergleich wurden in der Studie von 2008 in 21 % (n=70) der Fälle die Wechselwirkungen „vollständig“ oder „ausführlich“ einbezogen. In 71 % (n=70) der Fälle geschah dies nur teilweise (Einstufung „zum Großteil“ oder „insgesamt nicht“).

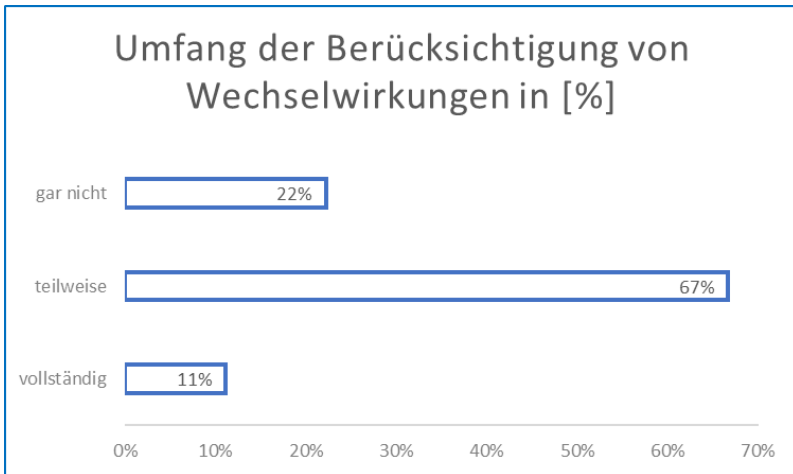


Abbildung 63: Umfang der Berücksichtigung von Wechselwirkungen (eigene Darstellung).

## Systemische Betrachtung der Wechselwirkungen

Als ein erster, niederschwelliger Indikator wurde die Berücksichtigung indirekter Wirkungen herangezogen. Nur in 28 % der Fälle wurden indirekte Wechselwirkungen überhaupt berücksichtigt. In 72 % der Fälle geschah dies gar nicht (Abbildung 64).

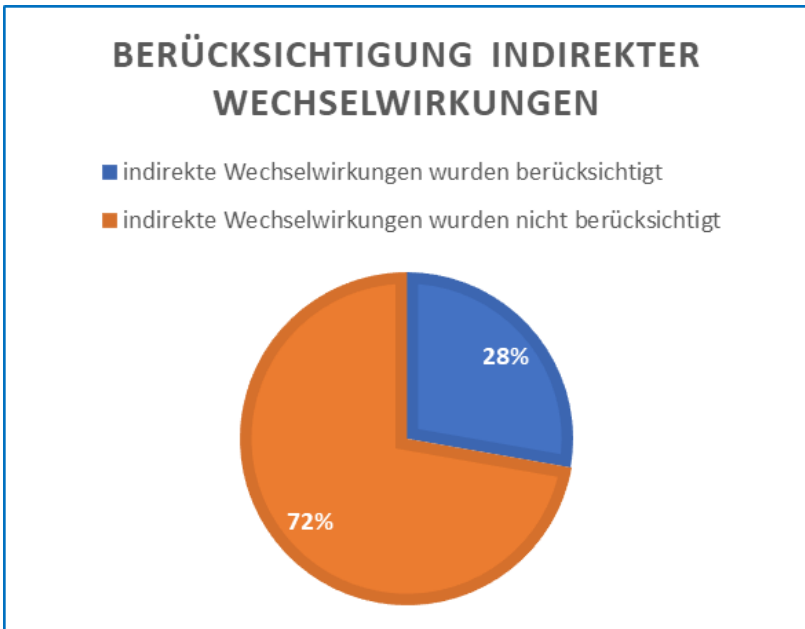


Abbildung 64: Anteil Datensätze mit Berücksichtigung indirekter Wechselwirkungen (eigene Darstellung).

Im Vergleich wurde in der Studie von 2008 von den Evaluierenden der Anteil an Vorhaben ermittelt, in welchen die „schutzgutübergreifenden Wirkungen [...] in Form von Wirkpfaden“ (BMUV.DE 12.04.2022) berücksichtigt wurde. Dieser Anteil betrug 21 %.

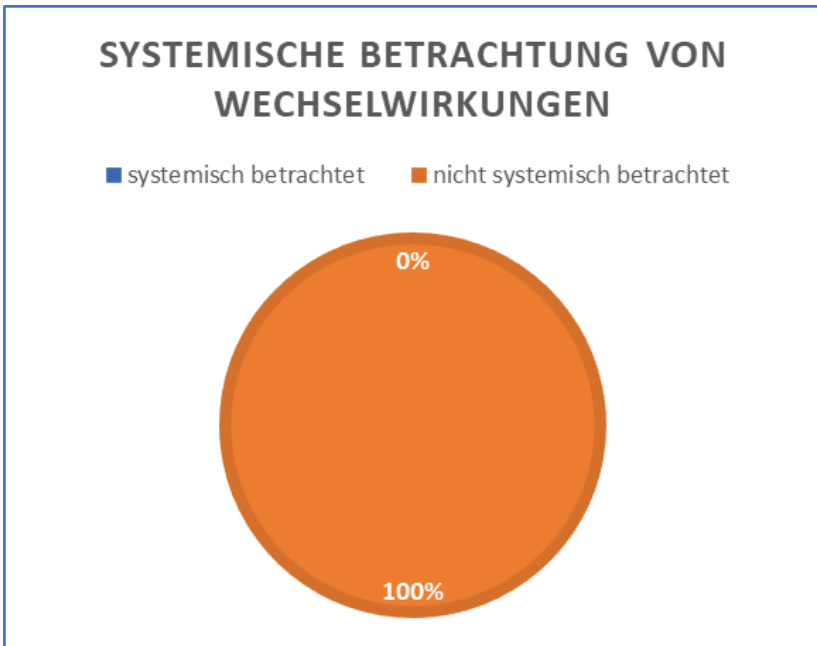


Abbildung 65: Anteil Datensätze mit systemischer Betrachtung der Wechselwirkungen (eigene Darstellung).

In der aktuellen Studie wird auch der Anteil der Vorhaben ermittelt, welcher aus Sicht der Evaluierenden als systemisch betrachtet werden kann. Dies umfasst insbesondere die in UVPVwV Nr. 0.3 genannten Indikatoren (u.a. Einzelursachen, Ursachenketten, zeitliche Dynamik, Dauer sowie Wirkung auf das System). Es zeigt sich, dass auf keinen der ausgewerteten Datensätze diese Kriterien zutreffen (Abbildung 65).

## 5.6.5 Diskussion, Zwischenfazit und Ausblick

### Diskussion und Zwischenfazit

Die Auswertung der Erhebung legt den Schluss nahe, dass es im Vergleich zur Evaluation aus dem Jahre 2008 zunächst eine deutliche Verbesserung bei der Thematisierung von Wechselwirkungen in den untersuchten Vorhaben gibt (Berücksichtigung in 78 % der untersuchten Fälle in 2021 im Vergleich zu einer Berücksichtigung nur in Einzelfällen in 2008). Dies kann jedoch auch bedeuten, dass die Wechselwirkungen nur sehr oberflächlich in den vorhandenen Datensätzen genannt wurden. Dieser Aspekt wurde hingegen bei der Analyse der Vollständigkeit der Betrachtung der Wechselwirkungen untersucht. Als „vollständig“ wurden lediglich 11 % der untersuchten Fälle eingestuft. Der Vergleich mit der UVP-Evaluation in 2008 gestaltet sich schwierig, da das Ergebnis von 2008 von 21 % der Fälle sowohl „vollständig“ als auch „umfänglich“ bewertete Berichte umfasste. Dennoch ist festzustellen, dass sowohl in 2008 als auch in der vorliegenden Studie die Auswirkungen eines Vorhabens auf das Schutzgut Wechselwirkungen nach § 2 UVPG in UVS **überwiegend nicht vollständig berücksichtigt** wurden.

Die Analyse des Aspektes der systemischen Betrachtung des Schutzgutes Wechselwirkungen nach § 2 UVPG zeigt, dass nur in 28 % der Fälle überhaupt indirekte Wechselwirkungen berücksichtigt wurden (gegenüber 21 % in 2008). In Abschnitt 3.6 wurde ausgeführt, dass *SuL* als ein dynamisch komplexes System betrachtet werden soll. Nach CRAWLEY et al. (2016) kann die Komplexität u.a. bestimmt werden durch die Menge an Entitäten und deren Verweisungen untereinander. LANGE (2015) sieht beispielhaft in zeitlicher Verzögerung, Nichtlinearität und Rückkopplungen ein Kennzeichen von Komplexität. Daher bestimmen gerade die Interdependenzen zwischen den Entitäten das Verhalten des gesamten Systems, insbesondere wenn in



jenen durch ein Vorhaben eingegriffen wird. Wenn diese Betrachtung in über 2/3 der Fälle gar nicht geschieht, dann stehen den Abwägenden überwiegend unzureichende Informationen zu den Auswirkungen der Vorhaben auf die Komplexität und Dynamik des Systems *SuL* zur Verfügung.

Die UVS bietet die Grundlage für behördliche Entscheidungen „unter naturschutzrechtlichen Aspekten“ (GASSNER et al. 2010). Entscheidungen bedürfen „eine[r] mehr oder weniger ausgeprägte Kenntnis der *äußeren Umstände*“ (WESSLER 2012). Je nach dem Umfang dieser Kenntnis unterscheiden LAUX et al. (2014) nach **Entscheidungen bei Sicherheit, Risiko und Unsicherheit**. Wenn diese indirekten Wirkungen in 28 % der berücksichtigten Fälle nicht berücksichtigt werden, dann kann daraus gefolgert werden, dass in 72 % der untersuchten Fälle Entscheidungen bei Unsicherheit oder Risiko getroffen werden. In der Untersuchung der indirekten Wechselwirkungen sehen HOPPE & APPOLD (2018) allerdings einen „medienübergreifenden Prüfauftrag“ (HOPPE & APPOLD 2018). Diesem Auftrag wird in einem großen Teil der untersuchten Daten zu Vorhaben demnach nicht nachgekommen. Keiner der untersuchten Fälle wurde systemisch betrachtet.

Tabelle 28 stellt die Ergebnisse der Evaluation des UVPG aus dem Jahre 2008 der vorliegenden Studie gegenüber.

Tabelle 28: Vergleichende Darstellung der Ergebnisse der Evaluation des UVPG aus dem Jahre 2008 mit der vorliegenden Studie.

Aspekt	UVP-Evaluation (2008)	vorliegende Studie (2021)	Anmerkung
<b>Thematisierung</b> von Wechselwirkungen	Berücksichtigung nur in Einzelfällen	Berücksichtigung in 78 % der Fälle	deutliche Steigerung
<b>Umfang</b> der Berücksichtigung von Wechselwirkungen	vollständige oder ausführliche Berücksichtigung in 21 % der Fälle	Vollständige Berücksichtigung in 11 % der Fälle	Zahlen nicht direkt vergleichbar
Berücksichtigung <b>indirekter</b> Wirkungen	21 % mit schutzgutübergreifender Wirkung	Berücksichtigung in 28 % der untersuchten Fälle	leichte Verbesserung
<b>systemische Betrachtung</b> der Wechselwirkungen	nicht evaluiert	in keinem der untersuchten Fälle	keine umfangreiche Berücksichtigung

## Methodendiskussion

Projekte im Zeitraum zwischen der UVP-Evaluation aus dem Jahre 2008 und dem Jahr 2017 wurden nicht ausgewertet, da nur ein begrenzter Zugriff auf die Daten bestand, und auch im Portal sind im Vergleich für diesen Zeitraum deutlich weniger Projektdaten eingepflegt. Hier kann nicht nachvollzogen werden, nach welchen Kriterien diese wenigen Projektdaten digitalisiert und im Portal zugänglich gemacht wurden. Damit ist auch nicht absehbar, welchen Einfluss die nicht bekannten Kriterien auf das Ergebnis der Studie haben können. Es wurde daher auf eine Berücksichtigung dieser Berichte verzichtet.

Im Vergleich zur Evaluation aus dem Jahr 2008 wurde bewusst auf eine Ermittlung eines Prozentanteils der medienübergreifenden Berücksichtigung verzichtet, da mit den Wirkketten bzw. indirekten Wirkungen ein neues Messinstrument eingeführt wurde, welches für die Aufgabenstellung von deutlich höherer Relevanz war: Damit wurde nicht allein geprüft, **wie häufig** Wechselwirkungen zwischen Schutzgütern berücksichtigt wurden, sondern auch, **ob** dies **systemisch** geschah. Eine jeweils isolierte Betrachtung zwischen einzelnen Wechselwirkungen bildet lediglich eine Wiederholung und Überlagerung linearen Denkens. Erst durch die weitere Betrachtung in der Wirkungskette können Rückkopplungen und deren Wirkungen für das Gesamtsystem identifiziert werden.

Es wurden für die Studie nur Straßenprojekte untersucht. Im Vergleich dazu wurden in der Studie aus dem Jahr 2008 auch andere Projekte analysiert. Dies kann dazu führen, dass die Ergebnisse aus gegenstandsbezogenen Gründen nicht vergleichbar sind. Der originäre Zweck der vorliegenden Studie ist es jedoch nicht, einen Vergleich zweier Studien durchzuführen, sondern die Berücksichtigung der Wechselwirkungen nach § 2 UVPG bei Infrastrukturprojekten zu bewerten. Die Evaluationsstudie aus dem Jahr 2008 bot hierzu lediglich den Anlass. Dennoch lag es in der Absicht des Verfassers, aus einem Vergleich Tendenzen abzuleiten und ggf. weiteren Forschungsbedarf zu identifizieren.

Die Gesetzesfolgenanalyse sagt nichts über **die tatsächliche Berücksichtigung** der in den Unterlagen gewonnenen Erkenntnisse und einem daraus **resultierenden Erfolg** für die jeweils betrachteten Umwelten aus, sondern lediglich darüber, ob der beabsichtigte Zweck des § 2 UVPG mit den normativ geregelten Maßnahmen überhaupt erfüllt werden kann. Durch eine systemische Betrachtung und Auslegung des § 2 UVPG, des M UVS sowie des UVPVwV ist dies theoretisch zwar möglich, in den untersuchten Fällen geschieht dies jedoch mehrheitlich nicht. Daraus wird ein Bedarf für eine Änderung oder Konkretisierung hin zu einer systemischen Sichtweise abgeleitet.

## Ergebnis der Studie

Obschon Wechselwirkungen in den meisten der untersuchten Datensätze thematisiert wurden, geschieht dies nur in wenigen Fällen vollständig für alle Schutzgüter. Indirekte Wechselwirkungen oder Wirkungsketten werden in den meisten Fällen nicht beachtet. Die in der UVPVwV Nr. 0.3 genannten Indikatoren (u.a. Einzelursachen, Ursachenketten, zeitliche Dynamik, Dauer sowie Wirkung auf das System) wurden in keinem der untersuchten Fälle umfassend berücksichtigt. Damit entfaltet der medienübergreifende Ansatz des § 2 UVPG nicht seine gewünschte Wirkung. Dies ist jedoch erforderlich, um der dynamischen Komplexität des Planungsgegenstands gerecht werden zu können und den Abwägenden die für die Abwägung notwendigen Informationen zukommen zu lassen. Es besteht somit ein gravierendes Defizit in der Gesetzesanwendung.

Eine **Lösung** könnte es sein, den von HOPPE & APOLD (2018) identifizierten medienübergreifenden Prüfauftrag methodisch zu unterstützen. Dies sollte normativ geregelt werden, indem beispielsweise durch eine Erweiterung des M UVS das Ordnungsprinzip des sozialen Systems der Planenden verändert wird. Konkret kann im **M UVS** die Bildung eines **qualitativen Modells festgeschrieben werden**, einschließlich der relevanten **Wechselwirkungen** der im Untersuchungsraum vorhandenen Schutzgüter. Daraus können Rückschlüsse auf das **Systemverhalten** gezogen werden (vgl. Abschnitt 6).

## Ausblick

Wie zuvor beschrieben, könnte die Erweiterung des M UVS dazu beitragen, das Defizit in der Gesetzesanwendung zu beheben, indem die Auswirkungen des Vorhabens auf das Schutzgut Wechselwirkungen nach § 2 UVPG in einem umfassenden systemischen Sinne betrachtet werden. Dies bedarf einer näheren Konkretisierung. Aufgrund der dynamischen Komplexität von *SuL* liegt es nahe, dies mit einer Methode zur Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme (vgl. Abschnitt 6.2.3) zu gestalten.

Als weiterer Forschungsbedarf wurden ergänzende Untersuchungen von UVS aus anderen Vorhaben nach Anlage 1 des UVPG identifiziert. Hier könnte beispielsweise der Ausbau der Strom-Transportnetze der Übertragungsnetzbetreiber zur Erreichung der Klimaziele Deutschlands als Forschungsgegenstand dienen.

Ergänzend sieht der Verfasser einen Forschungsbedarf in der Ermittlung des tatsächlichen **Zielerreichungsgrades** der Berücksichtigung der Auswirkungen von Vorhaben auf das Schutzgut Wechselwirkungen nach § 2 UVPG, bezogen auf die untersuchten Umwelten.

## 5.7 Dekomposition und Analyse des Systems Straße und Landschaft

Nach der Beschäftigung mit den Planungsprozessen in den Abschnitten 5.5 und 5.6 wird sich dieser Abschnitt dem System *in* der Transformation und damit dessen Gegenstand zuwenden – dem System *SuL*. Im Rahmen der Dekomposition muss die Frage beantwortet werden, aus welchen Entitäten dieses System besteht. Ihren Ausgang nimmt die Transformation aus dem beabsichtigten Bau einer Straße, welche selbst als ein aus miteinander in Beziehung stehenden Entitäten bestehendes Ganzes betrachtet werden kann, dessen Funktionalität größer ist als die Summe der einzelnen Entitäten (vgl. CRAWLEY et al. 2016). Die Straße kann u.a. anhand ihrer Entitäten Unter- und Oberbau, Geraden, Klothoiden und Kurven betrachtet werden. Damit wird als Funktion und emergente Eigenschaft die Raumüberwindung ermöglicht (vgl. HENCKEL & KRAMER 2019).

Ferner kann die Straße von der sie umgebenden Landschaft unterschieden werden, denn Systeme werden durch Abgrenzung von ihrer jeweiligen Umwelt gebildet (vgl. LUHMANN 2015). Trotz dieser Grenzen existieren zwischen dem System Straße und seiner Umgebung Interaktionen. Dies muss auch nicht im Widerspruch zur vorhergegangenen Aussage Luhmanns stehen, wenn man *SuL* als System betrachtet, welches nach außen durch die von der Straße erzeugten Wirkräume begrenzt ist.

Auf diese Interaktionen verweist LUHMANN (2015) und beschreibt „Umwelt [als] ein mit dem Innenhorizont korrespondierender Welthorizont“ (LUHMANN 2015).

Mit dem Perspektivwechsel wird vorgeschlagen, bei der Analyse des Systems im Kontext der Straßenplanung die System-Umwelt-Differenz in einem erweiterten Umfang zu betrachten, indem die Systemgrenzen transzendiert werden. Damit rückt ein Teil der Umwelt des

Systems Straße in den Fokus der Betrachtungen, weshalb untersucht werden soll, aus welchen Entitäten diese besteht.

In § 1 UVPG wird darauf hingewiesen, „dass bei bestimmten öffentlichen und privaten Vorhaben [...] die Auswirkungen auf die Umwelt [...] frühzeitig und umfassend ermittelt, beschrieben und bewertet werden“ sollen. Daraus kann gefolgert werden, dass die Schutzgüter nach § 2 UVPG die Umwelt repräsentieren. Allerdings gehören zur **Umwelt des Menschen** jene Schutzgüter, welche die **Existenzgrundlage** für das menschliche Überleben darstellen (vgl. ERBGUTH & SCHLACKE 2016, KLOEPFER 2019, APPEL et al. 2018, EHEMANN 2020). In der Perspektive wird dies erweitert um die **Ergebnisse anthropogenen Handelns** (vgl. EHEMANN 2020).

Daraus kann abgeleitet werden, dass die Medien *Boden, Wasser, Luft, Klima* und *Landschaft* die **Grundlage bilden für die Existenz** der Schutzgüter *Tiere, Pflanzen* und *biologische Vielfalt*. Dies korrespondiert mit Art. 20a GG, wonach „[d]er Staat [...] auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen und die Tiere im Rahmen der verfassungsmäßigen Ordnung durch die Gesetzgebung [...schützt]. Die UN erkennt ein Menschenrecht auf eine sichere, saubere, gesunde und nachhaltige Umwelt an (DEUTSCHES INSTITUT FÜR MENSCHENRECHTE 2021).

Damit werden die Menschen und ihre Gesundheit mittelbar in die Umwelt des Systems Straße mit einbezogen. Sie nehmen die Rolle der Beobachtenden ein und konstituieren sich als ein soziales System, indem sie sich zunächst von ihrer Umwelt abgrenzen. Damit wird alles außerhalb ihres Systems zur Umwelt. Durch den mittelbaren Zusammenhang werden die vorgenannten Schutzgüter auch zur Existenzgrundlage für die **Menschen** und *ihre Gesundheit*.

Auf die Rolle des Menschen als beobachtendes Wesen geht HOHEISEL (2019) ein und diskutiert verschiedene wissenschaftliche Ansätze darüber, wie die Beobachter:innen ausgehend vom physisch Wahrnehm-

baren **Landschaft** konstruieren. Damit wird diese als Konstruktion sozialer Systeme aufgefasst, ohne den in § 1 Abs. 1 BNatSchG beschriebenen eigenen Wert der Natur als schützenswertes Gut zu betrachten. Der Konstruktivismus beschäftigt sich mit dem Prozess, wie wir die Umwelt wahrnehmen und wie wir die eigene Realität konstruieren (vgl. WATZLAWICK 2021).

Durch die von EHEMANN (2020) beschriebene **Erweiterung der Umweltmedien** auf die anthropogen geschaffenen Güter, werden die Medien **kulturelles Erbe** und **Sachgüter** in die Begrifflichkeit der Umwelt mit einbezogen.

Wenn Straße und Landschaft ein System bilden, dann müssen, wie in Abschnitt 3.8.2 vorschlagen, die Systemgrenzen transzendiert werden. Dies steht in Übereinstimmung mit dem Vorschlag, einerseits die Betrachtung der Schutzgüter nach § 2 UVPG ebenso wie ihre Wechselwirkungen untereinander als Basis für die Ausgestaltung des Modells heranzuziehen und andererseits zu untersuchen, ob das System *SuL* durch diese Medien hinreichend repräsentiert wird. Dies geschieht anhand des Konzeptes der Systemdimensionen, wonach sich *SuL* aus abiotischen, biotischen, sozialen und technischen Systemen zusammensetzt. Abbildung 66 zeigt beispielhaft die Zuordnung einzelner Entitäten einer Kommune zu den in Tabelle 16 genannten Dimensionen.



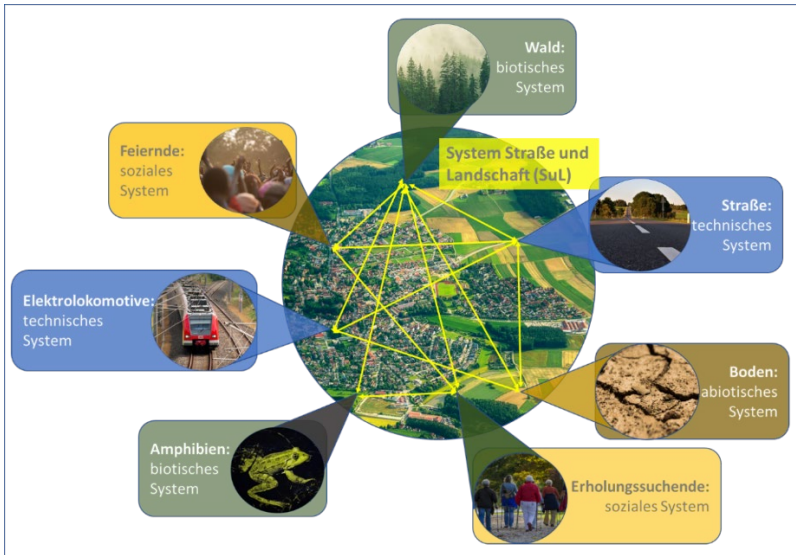


Abbildung 66: Beispielhafte Zuordnung von Entitäten zu den Systemdimensionen für das System Straße und Landschaft auf kommunaler Ebene (eigene Darstellung mit Bildquellen: pixabay.de).

### 5.7.1 Zuordnung der Schutzgüter nach § 2 UVPG zu den Systemdimensionen im Systemdimensionskreis

Der Abgleich der Systemdimensionen und der Schutzgüter in Abbildung 67 zeigt, dass die Mehrzahl der Schutzgüter den biotischen und abiotischen Systemdimensionen zugeordnet werden können und damit einer ökosystemaren Sicht auf die Umwelt folgen, während technische Entitäten lediglich durch *sonstige Sachgüter* sowie ggf. *kulturelles Erbe* repräsentiert werden. Soziale Entitäten werden bestenfalls als *kulturelles Erbe* berücksichtigt und fehlen ansonsten gänzlich. Einige der Schutzgüter entziehen sich aufgrund ihres komplexen, aus mehreren Systemdimensionen bestehenden Aufbaus einer eindeutigen Zuordnung, beispielsweise die Schutzgüter Boden und Wasser.

Ferner fällt auf, dass die Schutzgüter teilweise unterschiedlichen Ebenen oder Kategorien zugehören. So kann beispielsweise das Schutzgut *biologische Vielfalt* aus den Ausprägungen und der Ausgestaltung der Schutzgüter *Pflanzen* und *Tiere* abgeleitet werden. Ebenso existieren Zusammenhänge zwischen dem Schutzgut *Klima* und den Schutzgütern *Luft* und *Wasser* sowie zwischen *Boden* und *Tiere/Pflanzen*. Die einzelnen Entitäten der Umwelt sollen zu einem Gesamtbild zusammengeführt werden, um diese mit ihren „Zusammenhängen [...] in ihrer vollen Komplexität zu bewerten“ (HOPPE & APPOLD 2018).

Daraus lässt sich ein Bedarf für weitere Analyseschritte ableiten, um eben diese volle Komplexität mit ihren Wechselwirkungen bei der Dekomposition und der darauffolgenden Modellbildung und Simulation zu berücksichtigen. Es soll daher untersucht werden, welche Entitäten zur Gestaltung des Gesamtbildes zusätzlich zu den Schutzgütern betrachtet werden sollen. Dies geschieht durch Analyse der Unterschiede und Gemeinsamkeiten mit dem biokybernetischen Ansatzes Frederic Vesters sowie des Konzeptes der Systemaspekte.

Diese Zuordnung verfolgt nicht die Absicht, die Liste der Schutzgüter nach § 2 UVPG zu erweitern, sondern dient dem Zweck, zu überprüfen, welche Entitäten zusätzlich zu den Schutzgütern bei der Bildung eines Modells von *SuL* beachtet werden sollten. Der Code stellt das Ordnungsprinzip der jeweiligen Systemdimension dar.

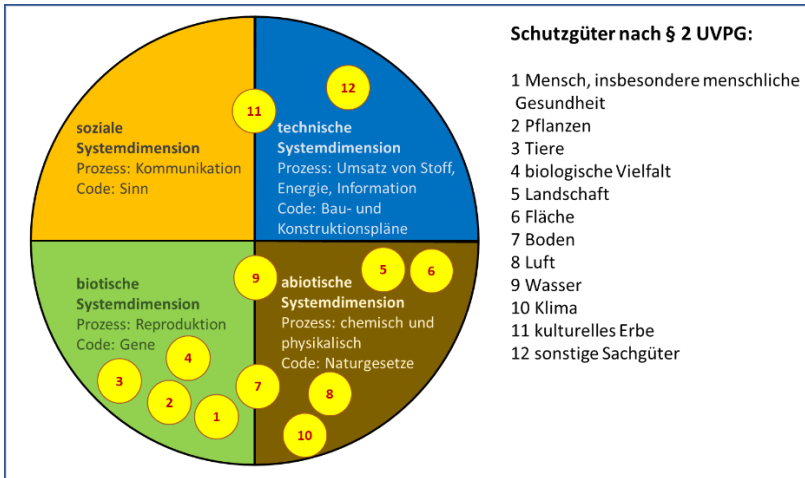


Abbildung 67: Zuordnung der Schutzgüter nach § 2 UVPG zu den Systemdimensionen (eigene Darstellung).

### 5.7.2 Biokybernetischer Ansatz und die Elemente eines systemrelevanten Modells nach Frederic Vester

VESTER (2015) verfolgt in „Die Kunst vernetzt zu denken“ einen biokybernetischen Denkansatz, um Systeme zu analysieren. Darin zeigt er Wege für ein vernetztes Denken zwischen u.a. Natur, Gesellschaft, Volkswirtschaft und Städtebau auf. In seinem Sensitivitätsmodell beschreibt er die Vorgehensweise zur Gestaltung eines systemrelevanten Modells, beginnend mit der Frage danach, was das System ist.

**Genau an dieser Stelle setzt die nachstehende Analyse an, indem mittels des biokybernetischen Ansatzes jene Entitäten des Systems SuL identifiziert werden sollen, welche durch die Schutzgüter nach § 2 UVPG noch nicht berücksichtigt werden.**

Im Sensitivitätsmodell nach VESTER (2015) bietet die **Kriterienmatrix** eine Hilfestellung, anhand derer die Entitäten dahingehend überprüft werden können, ob „die wichtigsten Systemkriterien abdeckt [werden]“

(VESTER 2015). Dies geschieht durch die Überprüfung von insgesamt 18 Kriterien, bestehend aus Lebensbereichen, physikalischen Grundkriterien, dynamischen Grundkriterien und Systembeziehungen (vgl. VESTER 2015, 1999).

Dies soll umfassend geschehen, um einen blinden Fleck oder eine Schiefelage in der Darstellung des Systems zu vermeiden (vgl. VESTER 2015). In Tabelle 29 sind diese Lebensbereichskriterien beschrieben.

*Tabelle 29: Lebensbereichskriterien, verändert nach VESTER (2015).*

Kriterium	Beschreibung	Beispiel	Anmerkung
<b>Lebensbereichskriterien</b>			
Akteur:innen	Akteur:innen , die im System handeln	Einwohner:innen, Planende, Politiker:innen	nur Planende im Teilsystem P enthalten; weitere Akteur:innen als soziale Systeme fehlen
Tätigkeiten	Tätigkeiten, die von den Akteur:innen verrichtet werden	wirtschaften, wohnen, arbeiten, anbauen	teilweise berücksichtigt
Ort	Orte, an welchen die Tätigkeiten stattfinden	Biotope, landwirtschaftliche Flächen, Gemeinden	in den Schutzgütern enthalten
Gefühle	Gefühle der Akteur:innen	Sicherheit, Existenzangst, Angst	nicht berücksichtigt

Kriterium	Beschreibung	Beispiel	Anmerkung
		vor Krankheit	
Umweltbeziehungen	Beziehung zwischen der Entität mit der Umwelt und deren Ressourcen	Benzinverbrauch, Bewässerungsbedarf, Schadstoffemissionen	berücksichtigt
Abläufe im System	Gestaltung der Abläufe im System	Straßennetz, Kommunikation im Projekt	nur teilweise berücksichtigt
Ordnungsprinzipien	Regelung der Abläufe im System	Gesetze, Merkblätter, Sinn, Naturgesetze	teilweise im <i>P-System</i> berücksichtigt

Neben den Lebensbereichen beschreibt VESTER (2015) drei physikalische Grundkriterien, welche aufzeigen, ob die jeweilige Entität aus Materie oder Energie besteht oder ob sie Kommunikationscharakter besitzt (vgl. Tabelle 30). Die Einteilung und Zuordnung dieser Kriterien aufgrund der Violdimensionalität des Systems führt dazu, dass Entitäten mit unterschiedlichen Einheiten dennoch anhand identischer Kriterien betrachtet werden und dass dies Kriterien erfasst, welche naturwissenschaftlich gesehen nicht vollumfänglich als physikalische Grundkriterien bezeichnet werden können. Beispielhaft seien hier Inhalte der Kriterien Energie und Macht genannt, welche nicht direkt vergleichbar sind. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass in biokybernetischen Systemen Entitäten aus sozialen Systemen gleichermaßen mit solchen aus technischen Systemen vorhanden sind und diese über die Kriterienmatrix erfasst werden sollen (Tabelle 30).

Tabelle 30: physikalische Grundkriterien verändert nach (VESTER 2015).

Kriterium	Beschreibung	Beispiel	Anmerkung
<b>Physikalische Grundkriterien</b>			-
Materie und Stoffe	Entitäten, die aus Materie bestehen	Bundesstraße, Pflanzen, Tiere, Menschen	Straße ist kein Schutzgut und wird nur als Ursache des Eingriffs betrachtet
Energie und Macht	Entitäten im Kontext von Energie oder Macht	Kraftstoffverbrauch, Energieträger, Entscheidungsbezugnis	Macht wird den sozialen, Energie den technischen Systemdimensionen zugerechnet.
Kommunikation	Entitäten im Kontext von Information und Kommunikation	Kommunikationsmittel, Beschlüsse, Diskussionen	Soziale Systemdimension

Ferner bezieht er mit den „dynamischen Grundkriterien“ jene Kriterien mit ein, welche Systemen eine zeitabhängige Entwicklung ermöglichen, um Dynamik in Systemen zu gestalten (Tabelle 31).

Tabelle 31: dynamische Grundkriterien verändert nach VESTER (2015).

Kriterium	Beschreibung	Beispiel	Anmerkung
<b>dynamische Grundkriterien</b>			
flussbestimmende Entitäten	Fluss von physikalischen Grundkriterien	Straßenverkehr, Fließgewässer	nur teilweise berücksichtigt durch Verkehr als Ursache
strukturbestimmende Entitäten	Entitäten, welche das System strukturieren	Raumordnung, Verkehrsnetz, Flächennutzungsplan	im <i>P-System</i> berücksichtigt
zeitlich dynamische Entitäten	Parameter, welche sich über die Zeit ändern können	Klimadaten	berücksichtigt über die Wechselwirkungen
räumlich dynamische Entitäten	Parameter, welche sich räumlich unterscheiden können	Förderungen, Bodenrichtwerte	z.T. in den Schutzgütern Boden und Fläche enthalten

Er ergänzt die Kriterienmatrix, um die **Beziehungen zwischen den Entitäten** (Tabelle 32).

Tabelle 32: Systembeziehungen verändert nach VESTER (2015).

Kriterium	Beschreibung	Beispiel	Anmerkung
<b>Systembeziehungen</b>			
Input-orientierte Entitäten	Entitäten, welche von außen beeinflusst werden	Niederschläge, Genehmigungen, Importe	abhängig von den Systemgrenzen
Output-orientierte Entitäten	Entitäten, welche aus dem System heraus wirken	Einleitung von Oberflächenwasser in Vorfluter, Pressemeldungen	abhängig von den Systemgrenzen
Autonomie	Entitäten, welche ihren Sollwert aus dem System erhalten	Gruppenentscheidung	teilweise berücksichtigt durch autonome biotische Systeme
Heteronomie	Entitäten, welche ihren Sollwert von außerhalb erhalten	Gerichtsurteil	teilweise berücksichtigt durch heteronome Systeme

Es sei angemerkt, dass die Zuordnung „von außen“ vom konkreten Einzelfall und damit von den Systemgrenzen abhängt. In Abschnitt 5.7.4 werden die Ergebnisse der Analysen in einem Gesamtfazit vorgestellt.



### 5.7.3 Konzept der Systemaspekte

Nach Abschnitt 3.5 sollten Systeme unter verschiedenen Aspekten betrachtet werden, um „alle [...] wesentlichen Informationen, Wirkbeziehungen und strukturellen Kopplungen“ zu erfassen. In Tabelle 33 wird die Berücksichtigung der Systemaspekte im Systemdimensionskreis gezeigt.

Tabelle 33: Übersicht der Systemaspekte.

Systemaspekt	Frage	Beispiel	Anmerkung
<b>Zwecke</b>	Was will der Vorhabenträger?	Verbindung zweier Mittelzentren	nur im <i>P-System</i> berücksichtigt
<b>Verhalten</b>	Was soll das System tun?	Ortsveränderungen ermöglichen	nur im <i>P-System</i> berücksichtigt
<b>Leistung</b>	Wie effizient soll es das System tun?	Kosten der Maßnahme	teilweise als Ursache für Eingriffe enthalten, z.B. Verkehrsstärke
<b>Form</b>	Was ist das System?	Bodenaufbau	teilweise in den Schutzgütern enthalten
<b>Prozesse</b>	Welche Prozesse schaffen das System?	Planungsprozess	erfolgt durch das <i>P-System</i>
<b>Daten</b>	Welche Informationen beinhaltet das System?	Populationen	in UVS berücksichtigt

## 5.7.4 Ergebnisse der Analysen

Aus der Analyse und dem Vergleich der Schutzgüter nach § 2 UVPG mit den Systemdimensionen, dem biokybernetischen Ansatz und dem Konzept der Systemaspekte ergeben sich die folgenden, bedeutenden Entitäten des Systems *SuL*, die nicht berücksichtigt sind:

### I. **Mensch und Gesellschaft als soziale Systeme**

- ▶ Menschen und Gesellschaft als Akteur:innen
- ▶ Tätigkeiten dieser Akteur:innen (Verhaltensaspekt)
- ▶ Sinn als Ordnungsprinzip dieser sozialen Systeme, beispielsweise Beteiligung und Entscheidung
- ▶ Kommunikation als Operation sozialer Systeme
- ▶ Gefühle und Wahrnehmung von Problemen
- ▶ Ziele der Akteur:innen als Zweckaspekt

### II. **Straße als mit dem Wirtschafts- und Gesellschaftssystem strukturell gekoppeltes System**

- ▶ Straße als Ursache und Objekt von Wirkungen
- ▶ Form und Querschnitt der Straße als Ursache und Objekt von Wirkungen
- ▶ Verkehr und damit Ortsveränderung als Verhaltensaspekt
- ▶ Ziele des Straßenbaus (kann Verhaltens-, Leistungs- und/oder Zweckaspekt sein)

### III. **Wirtschaft als Funktionssystem der Gesellschaft**

- ▶ Wirtschaften als Tätigkeit der Akteur:innen des sozialen Systems (Verhaltensaspekt)
- ▶ Ziele des Wirtschaftssystems als Verhaltensaspekt

**Ferner sollten bei der Modellbildung die folgenden Aspekte beachtet werden:**

- ▶ zeitliche Dynamik der Entitäten
- ▶ Input und Output des Systems *SuL* als Anschlussfähigkeit an übergeordnete Systeme
- ▶ Zweckaspekte als Zielsysteme seitens der Akteur:innen im *SuL*- sowie im *P-System*
- ▶ Abbildung der Prozessaspekte durch das *P-System*

### **Zwischenfazit**

Das System *SuL* beinhaltet deutlich mehr Entitäten als die Summe der Schutzgüter nach § 2 UVPG. Die Analysen haben gezeigt, dass darin der Mensch als Individuum sowie als gesellschaftliches Wesen ebenso fehlt wie beispielsweise die Wirtschaft oder die Straße als Ursache **und** Objekt von Wirkungen. Diese Entitäten sollen daher die Schutzgüter nach § 2 UVPG ergänzen, um die Frage danach zu beantworten, was das System *SuL* ist.

Ebenso ist die zeitliche Dynamik bei allen Entitäten ebenso zu beachten wie das Zielsystem von *SuL*.

### 5.7.5 Diskussion und Erweiterung des Systemdimensionenskreises

Der Systemdimensionenskreis wird um die im Rahmen der Analyse ermittelten zusätzlichen Entitäten *Mensch als soziales Individuum*, *Gesellschaft*, *Wirtschaft* und *Straße* erweitert. In diesem Zusammenhang ist zu diskutieren, inwiefern durch die Aufnahme der Entitäten **Gesellschaft** und **Wirtschaft** eine Dopplung aufgrund von Überschneidungen erfolgt, da die Wirtschaft als Teil der Gesellschaft angesehen werden könnte. LUHMANN (2018a) hingegen spricht nicht von Teilsystemen, sondern führt den Begriff der **Funktionssysteme** ein (vgl. RUNKEL & BURKART 2012). „Funktionssysteme [reduzieren] für die Gesellschaft in erheblichem Maß Komplexität“ (BRAUN 2017). Dies geschieht, indem sie für die Gesellschaft aus einem spezifischen Blickwinkel Medien aufbereiten, beispielsweise Geldflüsse im Funktionssystem Wirtschaft (vgl. LUHMANN 2018a).

Auch die **Kultur** kann als ein Funktionssystem des Systems Gesellschaft aufgefasst werden. Diese kann u. a. auch im Schutzgut kulturelles Erbe erfasst werden. Eine Untergliederung ist demnach sinnvoll und möglich und kann als ein Hilfsmittel zur Reduzierung der Komplexität angenommen werden.

Ferner wurde im Systemdimensionenskreis ergänzt, dass die soziale und biotische Systemdimension sowohl autonome als auch autopoietische Eigenschaften besitzen, die technische und abiotische Systemdimension hingegen allopoietische und heteronome Eigenschaften. Die soziale und technische Systemdimensionen bilden gemeinsam die Gruppe der **sozioökonomischen Systemdimension**, während die abiotische und die biotische Systemdimensionen die Gruppe der **ökosystemaren Dimensionen** bilden (Abbildung 68). Es zeigt sich, dass durch die Erweiterung die Gruppe der sozioökonomischen Systemdimensionen ein alle Systemdimensionen berücksichtigender Blick auf das System *SuL* ermöglicht wird.

Die Unterteilung in sozioökonomische und ökosystemare Systemdimensionen verweist einerseits auf den Unterschied zwischen dem Ökosystem und dem sozioökonomischen System und andererseits darauf, dass beide Gruppen zum selben System *SuL* gehören und daher nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können. **Der Systemdimensionskreis bildet damit die Grundlage für ein Modell des Systems *SuL*.**

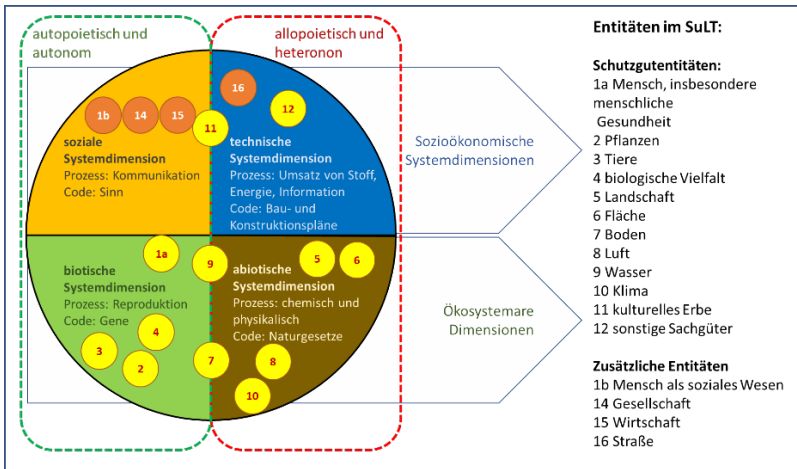


Abbildung 68: Erweiterter Systemdimensionskreis (eigene Darstellung).

### 5.7.6 Zusammenführung des ökosystemaren, systemdimensionalen und biokybernetischen Ansatzes in einem Projektstrukturplan

Die im Rahmen der Analysen identifizierten Entitäten des Systems *SuL* werden in Abbildung 69 zu einer WBS zusammengeführt. Da die zeitliche Dynamik im System *SuL* eine wichtige Rolle einnimmt, wurde diese als eigene Teilaufgabe mit dem zugehörigen Schutzgut der Wechselwirkungen eingefügt.

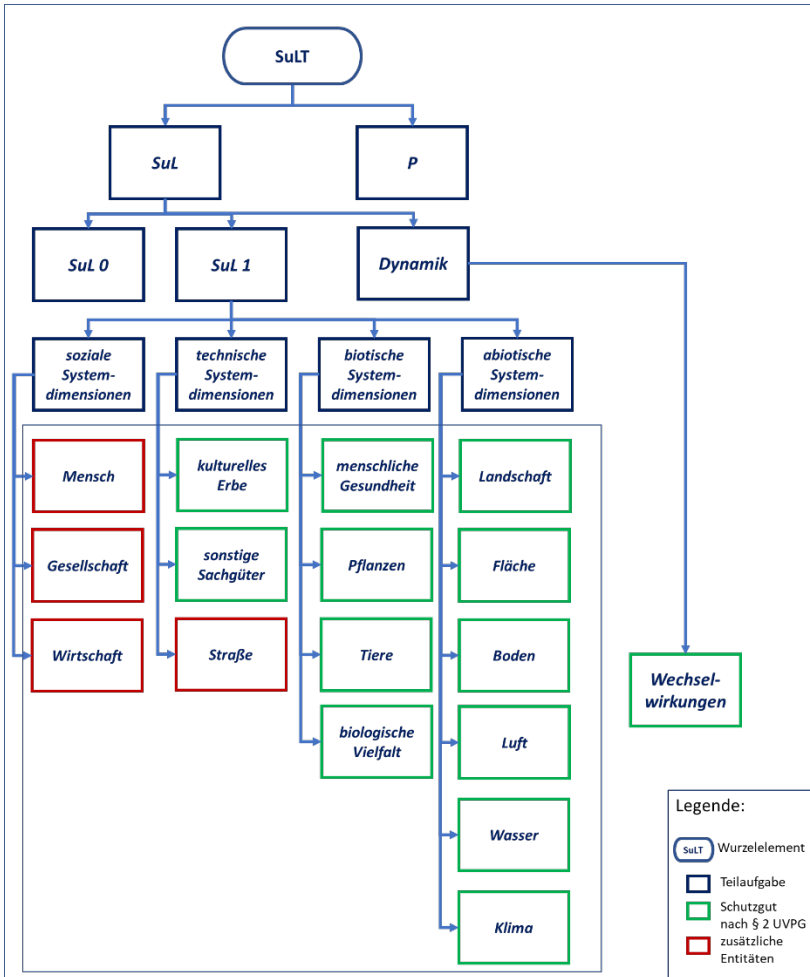


Abbildung 69: Projektstrukturplan SuLT mit Fokus auf die Entitäten von SuL (eigene Darstellung).

## 5.8 Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

### 5.8.1 Zusammenfassung

Zu Beginn der Beschäftigung mit der Dekomposition und Analyse des Systems *SuLT* wurde die **Arbeitshypothese** aufgegriffen. Demnach besteht ein Zusammenhang zwischen der Qualität der Dekomposition als unabhängiger und dem Erfolg als abhängiger Variable. Hierbei bildete die Komplexität die intervenierende Variable (vgl. Abbildung 36). Diese Hypothese konnte, wie bereits in Abschnitt 5.2 erläutert, nicht überprüft werden, da es sich u.a. bei der Optimierung des Systemtransformationserfolgs nicht um ein lineares Optimierungsproblem handelt, weil die intervenierende Variable *Komplexität* einen zu großen Einfluss besitzt und ein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen *Dekompositionsqualität* und *Erfolg* experimentell nicht überprüft werden kann (vgl. Abschnitt 5.2).

Dennoch scheint die Annahme eines Zusammenhangs zwischen einer alle relevanten Informationen berücksichtigenden Dekomposition und dem Systemtransformationserfolg logisch und schlüssig, auch wenn dies aus den genannten Gründen nicht überprüft werden kann. Der Abschlussbericht zur 2008 publizierten UVP-G-Evaluation (BMUV.DE 12.04.2022) stützt diese Annahme, indem vermutet wird, dass wesentliche, für die Entscheidungsfindung relevanten Akteur:innen nicht die notwendigen Informationen erhalten. Aufgrund der Nicht-Linearität ist das Ziel nicht, die **optimale** Lösung zu finden. Dennoch kann die Annahme dazu beitragen, **bessere** Lösungen zu finden (vgl. RITTEL 2013).

Unabhängig davon ist der Schritt der Dekomposition notwendig, um mit der Komplexität des Systems umgehen zu können. Die **Forschungsfrage** zielte daher darauf ab aufzuzeigen, in welche Entitäten *SuLT* dekomponiert werden kann, um erstens die Komplexität zu re-



duzieren und zweitens eine systemische Untersuchung zu ermöglichen. Ein Mittel zur Durchführung der Dekomposition ist die Vorgehensweise zur Erstellung einer Work-Breakdown-Structure (WBS; vgl. Abschnitt 5.3), wobei beachtet werden muss, dass wichtige Interdependenzen dadurch nicht verloren gehen dürfen. Daher ist WBS als alleiniges Modellierungswerkzeug nicht geeignet.

Eine Schwierigkeit bei der Dekomposition besteht darin, dass jeweils richtige **Maß der Detaillierung** zu finden, um einerseits für das Systemverhalten wichtige Entitäten nicht zu vernachlässigen und andererseits Daten zu reduzieren, um den Aufwand zu minimieren und Berechenbarkeit zu gewährleisten. Ebenso sind die Trennstellen zwischen den durch die Dekomposition getrennten Entitäten, aber auch die Grenzen des Systems sorgfältig auszuwählen, um relevante Wirkbeziehungen bei der Modellbildung und Simulation berücksichtigen zu können. Durch die strukturelle Kopplung zeigt sich, dass die beiden Entitäten auf der zweiten Ebene der WBS, Prozess und Systemgegenstand, dekomponiert werden müssen, da Wechselwirkungen nicht nur zwischen den Entitäten des Systems *SuL*, sondern auch zwischen dem *P-System* und dem *SuL-System* bestehen (vgl. Abschnitt 5.4).

Die **Dekomposition und Analyse des P-Systems** in Abschnitt 5.5 lässt die Vermutung zu, dass eine Reduktion auf die Betrachtung der Phasen **vor der Bestimmung der Linie** zielführend ist, da in dieser Phase die Einflussmöglichkeiten auf die Kosten des Vorhabens besonders groß sind und damit ein großer Eingriff in das Ordnungsprinzip des Systems *SuL* verbunden ist. Dies könnte einen erheblichen Einfluss auf das Systemverhalten haben. Gerade in diesen Phasen wurden bereits Defizite dahingehend erkannt, dass die Wechselwirkungen nach § 2 UVPG nur unzureichend berücksichtigt werden (vgl. BMUV.DE 12.04.2022)

Die Gesetzesfolgenabschätzung zeigte ein Defizit in der Gesetzesanwendung auf. Gerade deshalb ist es möglich, dass im Rahmen von Zulassungsverfahren von Verkehrsvorhaben Entscheidungen in ei-

nem nicht unerheblichen Maß bei Unsicherheit getroffen werden können. Dies begründet sich darin, dass die in dynamisch-komplexen Systemen für das Systemverhalten relevanten Wechselwirkungen in allen untersuchten UVS nur unzulänglich betrachtet wurden. Es ist zu beachten, dass „Komplexität [...] durch die nichtlineare Wechselwirkung [...] hervorgerufen wird“ (DUCHARDT et al. 2019). Eine Vernachlässigung dieser Wechselwirkungen kann zur Folge haben, dass Instabilitätspunkte des Systems nicht erkannt werden (vgl. DUCHARDT et al. 2019, RAMMLER 2015, CARROLL 2017). Der Planungsprozess zur Linienbestimmung lässt sich folglich dadurch optimieren, dass darin die Wechselwirkungen des dynamisch-komplexen Systems *SuL* berücksichtigt werden.

Durch Überarbeitung des M UVS könnte die Lücke zwischen dem von HOPPE & APPOLD (2018) erkannten medienübergreifende Prüfauftrag einerseits und der gelebten Praxis andererseits durch eine **normative Festlegung der Verwendung der Methode der Systems Dynamics** geschlossen werden (vgl. Abschnitt 6.2.3).

Die **Dekomposition und Analyse des Systems *SuL*** ergibt, dass dieses nicht nur aus den Schutzgütern nach § 2 UVPG besteht, sondern dass es um die Entitäten *Mensch als Individuum*, *Gesellschaft*, *Wirtschaft* und *Straße* erweitert werden muss um das System ausreichend zu repräsentieren. Dabei sind Dynamik als auch Wechselwirkungen aller Entitäten zu beachten. Dies ergänzt den bereits zuvor festgestellten Optimierungsbedarf des *P-Systems*.

Das System *SuL* setzt sich einerseits aus sozioökonomischen und ökosystemaren Dimensionen und andererseits aus autonomen und heteronomen Dimensionen zusammen. Dies ist insofern bedeutsam, da die jeweiligen Dimensionen mit ihren Eigenschaften eine inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener Fachrichtungen erfordern, und die Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten durch die Unterschiede in der Poiesis und Autonomie sehr different sind.

## 5.8.2 Diskussion der Ergebnisse der Forschungsfrage

Die Dekomposition und Analyse des Systems *SuLT* sollte die Frage danach beantworten, in welche Entitäten *SuLT* dekomponiert werden kann, um die Komplexität zu reduzieren und eine systemische Untersuchung zu ermöglichen. Aus den in den Abschnitten 5.4, 5.5 und 5.7 gewonnenen Teil-WBS wird die in Abbildung 70 gezeigte Gesamt-WBS entwickelt. Darin wird ersichtlich, in welche Teilaufgaben *SuLT* dekomponiert werden sollte um dieses hinreichend zu repräsentieren.

In Abschnitt 5.3.2 wurde u. a. die Work-Breakdown-Structure (WBS) als Dekompositionswerkzeug vorgestellt. Es wurde ausgeführt, dass diese wegen der nur eingeschränkt möglichen Berücksichtigung von Interdependenzen als alleiniges Werkzeug für die Dekomposition von *SuLT* nicht geeignet ist. Daraus kann die Frage entwickelt werden, warum die Dekomposition nicht umfänglich durch andere Methoden, beispielsweise der Systems Dynamics Methode, vollzogen werden kann. Dies erscheint jedoch nicht sinnvoll, da die WBS trotz der genannten Nachteile geeignet scheint, eine Aufgabe übersichtlich, strukturiert und hierarchisiert in Teilaufgaben und Arbeitspakete zu dekomponieren (vgl. CRAWLEY et al. 2016, HABERFELLNER 2012).

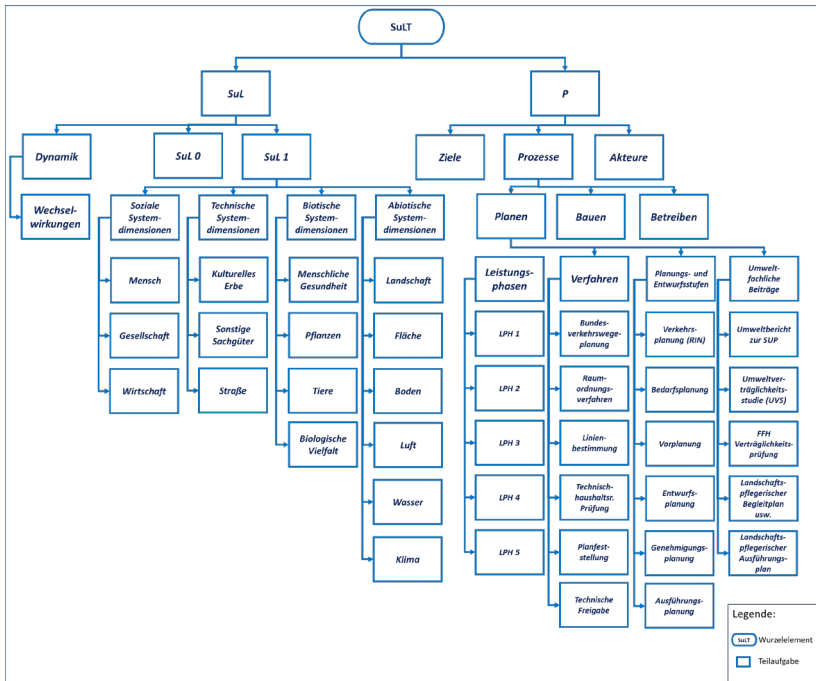


Abbildung 70: Projektstrukturplan als Dekomposition des Systems Straße und Landschaft in der Transformation (eigene Darstellung).

Allerdings ist die Tatsache, dass Interdependenzen nur rudimentär darin berücksichtigt werden, vor dem Hintergrund eines dynamisch-komplexen Gegenstands ein gewichtiger Punkt für die Nutzung der Methode. Insbesondere die Schnittstellen haben einen maßgeblichen Einfluss auf erwünschtes, aber auch unerwünschtes Systemverhalten. MAIER (2009) beschreibt dies wie folgt:

*Relationships among the elements are what give systems their added value.*

Der Autor verweist darauf, dass die Interdependenzen wichtige Stellhebel für die Systemarchitektur darstellen und gleichzeitig, dass darin auch die größten Risiken liegen (vgl. MAIER 2009).

Eine Beschränkung auf die alleinige Nutzung der **Systems Dynamics Methode** könnte zwar das Problem der Wechselwirkungen lösen – allerdings wäre damit die Komplexität nicht reduziert. Gelöst wird dieser Konflikt im Rahmen dieser Ausarbeitung durch ein mehrstufiges Vorgehen:

- ▶ Dekomposition von *SuLT* durch eine Work-Breakdown-Structure (WBS);
- ▶ Berücksichtigung der Wechselwirkungen innerhalb der WBS durch die Ergänzung der Teilaufgabe „Dynamik“ (vgl. Abbildung 70); dadurch Verweis auf ein Handlungsfeld, welches in seiner Dynamik bislang eher unzureichend berücksichtigt wird;
- ▶ Analyse des Systems und Konzentration auf die für die Bildung des Systemverhaltens besonders relevanten Prozesse und Entitäten um die Komplexität zu reduzieren;
- ▶ Rekomposition durch Modellbildung der als relevant erkannten Entitäten unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen;
- ▶ Simulation und Analyse des Systemverhaltens;
- ▶ Überprüfen der Systemtransaktionsziele und Ableitung von Maßnahmen.

Ferner kann diskutiert werden, ob überhaupt die **richtige Frage** gestellt wird. Verkürzt dargestellt wird danach gefragt, **was das System *SuLT* ist**. Beantwortet wird diese Frage, indem zwischen dem Planungsgegenstand *SuL* und dem die Transformation gestaltenden *P-System* unterschieden wird. Insbesondere beim System *SuL* zielt dies auf den **Formaspekt** des Gegenstands. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, nach Funktionen zu dekomponieren (vgl. CRAWLEY et al. 2016).

Folglich könnte auch danach gefragt werden, welche Funktionen *SuLT* erfüllen soll. Daraus könnte sich zunächst eine andere WBS ent-

wickeln. Dennoch wird die Form benötigt, um Funktionalität zu ermöglichen (vgl. POERSCHKE 2016, CRAWLEY et al. 2016). Daraus folgt, dass auch bei einem funktionsorientierten Vorgehen ggf. der Formaspekt betrachtet werden muss, bevor näher auf die Funktionen eingegangen wird. Die Formen müssen durch den Prozessaspekt zu einem System aggregiert werden. Mithin ist eine Unterteilung in die Entitäten *SUL* und *P* eine zwingende Notwendigkeit der Dekomposition von *SuLT*.

Die **Konzentration** auf die Betrachtung der Berücksichtigung der Auswirkungen eines Vorhabens **auf das Schutzgut Wechselwirkungen nach § 2 UVPG** ist ein radikaler Schritt und muss als solcher diskutiert werden. Diese Reduktion schließt andere, möglicherweise ebenso wichtige Teilprozesse von den Betrachtungen im Rahmen dieser Arbeit aus. Dies ist dem Verfasser bewusst, weshalb hier auch weiterhin ein Forschungsbedarf anerkannt wird. Dem kann entgegengehalten werden, dass im systemischen Sinne die Form als Aspekt der Entitäten dennoch durch die Beschäftigung mit dem *SuL*-System umfangreich betrachtet wird. Gerade im Zusammenspiel zwischen den Entitäten der Form und den Interdependenzen – und damit den Wechselwirkungen – können Systeme betrachtet werden (vgl. CRAWLEY et al. 2016, HABERFELLNER 2012, CANNON 1967, MAIER 2009). Gemeinsam mit den Festlegungen der Trassierungsparameter in der RIN Verkehrsplanung werden folglich die wesentlichen Bausteine des Ordnungsprinzips des Systems in diesem Schritt berücksichtigt.

Das übergeordnete Ziel ist es, den Erfolg im Rahmen von Infrastrukturprojekten zu optimieren und erst in der Phase der Vorplanung handeln die Akteur:innen auf der Ebene von **Projekten**. Wie in Abschnitt 5.5 dargelegt wurde, können Änderungen dieses Ordnungsprinzips in den Phasen danach nur mit größerem Aufwand verändert werden. Abschließend sei auf die lange Dauer des gesamten Planungsprozesses hingewiesen. Dies hat eine Dynamik im System der Planenden zur Folge. Gerade aber in der Phase der Vorplanung kann man erstmalig eine Verdichtung der Informationen durch verschiedene Expert:innen annehmen.

Die dekomponierten Entitäten von *SuLT* bilden die Basis möglicher Teile für die Berücksichtigung bei der Modellbildung und Simulation des Gesamtsystems. Hier kann hinterfragt werden, **ob mit den Entitäten** und deren Verweise auf andere Entitäten durch die Interdependenzen auch **tatsächlich das Verhalten des Systems in Abhängigkeit der Zeit** bestimmt werden kann. BOSSEL (2004) unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen Verhaltens- und Speichergrößen (Stocks). In letzteren können Zustände des Systems gespeichert werden, beispielsweise der Populationsgröße, der täglichen Verkehrsstärke oder der Dichte von Gasen. Die Besonderheit besteht darin, dass sich diese Größen in Abhängigkeit von der Zeit verändern können. Die Herausforderung besteht gerade bei **sozialen Systemen** darin, die Zustände in diesen Speicher- oder Zustandsgrößen zu bestimmen. Dies wird besonders durch die Aufnahme der Entitäten Mensch und Gesellschaft ermöglicht. Wie bereits in Abschnitt 3.3 ausgeführt, sollte bei der Betrachtung des Systems *SuL* auch berücksichtigt werden, was Individuen denken. Ebenso können die Ziele, die wahrgenommenen Probleme und die möglichen Stellhebel zur Beeinflussung der Probleme durch dieses Instrument in das Modell integriert werden.

### 5.8.3 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Durch die Analyse und Bewertung der Planungsprozesse konnte der Untersuchungsbereich auf die frühen Planungsphasen bis zur Linienbestimmung eingegrenzt und in einem weiteren Analyseschritt auf den umweltfachlichen Beitrag der *Umweltverträglichkeitsstudie (UVS)* reduziert werden, da vor dem Hintergrund der systemischen Herangehensweise der vorliegenden Ausarbeitung in jener Teilaufgabe ein großes Potenzial für Optimierungen des Systemtransformationserfolgs vermutet wird. Durch die Abgrenzung werden mögliche Verbesserungspotenziale der Bau- und Betriebsphasen sowie in den der UVS vorgelagerten oder nachfolgenden Planungsteilaufgaben nicht

weiterverfolgt. Hieraus lassen sich weitere Forschungsbedarfe ableiten. Beispielhaft sei hier auf die bereits von der Reformkommission vorgeschlagene Integration der Methode des **Building Information Modeling (BIM)** verwiesen (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015).

Nachdem festgestellt wird, dass gerade in den Phasen vor der Bestimmung der Linie in das Ordnungsprinzip des *SuL*-Systems eingegriffen wird, ist zu untersuchen, welche Wechselwirkungen im Untersuchungs- und Gestaltungsbereich des Forschungsvorhabens zwischen den einzelnen Entitäten bestehen. Denkbar sind Wechselwirkungen zwischen

- ▶ Entitäten des Systems *SuL*,
- ▶ Teilen des *P-Systems* und
- ▶ Entitäten des Systems *SuL* und Teilen des *P-Systems*.

Wenn der Schritt der Rekombination mittels Modellbildung und Simulation durch die Änderung des Sinns der betreffenden sozialen Systeme realisiert werden soll, ist zu klären, **wo konkret im Planungsprozess** dies zukünftig verortet werden sollte. Gemäß UVPG werden in der UVP die Wechselwirkungen der Schutzgüter betrachtet. Diese beinhalten aber nicht die zusätzlichen Entitäten. Hier scheint eine Erweiterung der Aufzählung der Schutzgüter nach § 2 UVPG um die Entitäten Straße, Wirtschaft, Mensch und Gesellschaft nicht geboten, da dies nicht dem Zweck des UVPG entspricht. Nach § 3 UVPG umfassen „Umweltprüfungen die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der erheblichen Auswirkungen eines Vorhabens oder eines Plans oder Programms auf die Schutzgüter“.

Die Raumordnung hingegen blickt umfassender auf das System *SuLT* und hat auch die sozioökonomischen Dimensionen im Blick. Dies findet seinen Ausdruck in den Grundsätzen der Raumordnung nach § 2 Abs. 2 Satz 1 Raumordnungsgesetz (ROG):



*Im Gesamtraum der Bundesrepublik Deutschland und in seinen Teilräumen sind ausgeglichene soziale, infrastrukturelle, wirtschaftliche, ökologische und kulturelle Verhältnisse anzustreben. Dabei ist die nachhaltige Daseinsvorsorge zu sichern, nachhaltiges Wirtschaftswachstum und Innovation sind zu unterstützen, Entwicklungspotenziale sind zu sichern und Ressourcen nachhaltig zu schützen. [...] Auf einen Ausgleich räumlicher und struktureller Ungleichgewichte zwischen den Regionen ist hinzuwirken. Die Gestaltungsmöglichkeiten der Raumnutzung sind langfristig offenzuhalten.*

Dennoch ist normativ nicht festgelegt, dass dies dynamisch-systemisch geschehen soll. LAUTNER (1999) führt aus, dass „bei Programmen und Plänen nicht die Abstimmung einzelner Projekte im Vordergrund“ stehen (LAUTNER 1999). Er ergänzt, dass „gerade großinfrastrukturelle Vorhaben eine Vielzahl räumlicher Auswirkungen nach sich ziehen, die dort jedoch nicht erfaßt werden können“ (LAUTNER 1999). Man kann somit in der Phase der Vorplanung von einem Defizit hinsichtlich einer alle Systemdimensionen erfassenden systemischen Analyse ausgehen, bei gleichzeitig stattfindender Neufestsetzung des Ordnungsprinzips und damit des Systems *SuL*. Aus der Suche nach einem geeigneten Ort und Zeitpunkt innerhalb des *P-Systems* kann ein weiterer Forschungsbedarf abgeleitet werden.

## 6 Paper 4: Case-Study - Rekombination und Simulation des Systems Straße und Landschaft in der Transformation am Beispiel der B3 Orts-umfahrung Elstorf

Dieses Kapitel ist für eine spätere Veröffentlichung vorgesehen.

### 6.1 Problembeschreibung und Fragestellung

Große Infrastrukturprojekte bedeuten für den Raum, in welchem sie stattfinden, eine gravierende Transformation, welche häufig von Konflikten, Verzögerungen und Budgetüberschreitungen gekennzeichnet ist. Im Rahmen der Planung und Umsetzung solcher raumbedeutsamen Verkehrsinfrastrukturprojekte erfährt das aus Straße und Landschaft (*SuL*) bestehende Gesamtsystem eine Transformation vom Ursprungssystem zum Zielsystem. Während dieses oft langwierigen Prozesses können sich die Zielvorstellungen u.a. aufgrund von dynamischen politischen, rechtlichen, verkehrlichen oder gesellschaftlichen Rahmenbedingungen ändern.

Der Abschnitt 3 untersucht dieses System systemisch. Es wird u.a. vorgeschlagen, dieses als Modell abzubilden und zu simulieren. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen es ermöglichen, wichtige Systemgrößen, Rückkopplungen, Instabilitätspunkten und Attraktoren zu identifizieren, um daraus Handlungsempfehlungen im betrachteten Vorhaben ableiten zu können. Dadurch soll das Wissen über die Umstände der Transformation erweitert und Entscheidungen in diesem Kontext rationaler getroffen werden. Mithin erfordert dies eine geistige Haltung, nach welcher Straße und Landschaft als ein aus technischen, sozialen, abiotischen und biotischen Systemdimensionen bestehendes Gesamtsystem betrachtet wird. Dieser Ansatz soll auf ein konkretes Projekt angewendet werden, anhand dessen sich die folgenden Fragen entwickeln lassen:

Kann mittels Modellbildung und Simulation ein Systemverhalten abgebildet werden, welches im Rahmen sektoraler Betrachtungen einzelner Entitäten nicht darstellbar ist?

Besitzt das System *SuL* des konkreten Vorhabens Instabilitätspunkte und ergeben sich aus der Betrachtung des Modells Hinweise auf Bifurkationsstellen?

## 6.2 Material und Methode

### 6.2.1 Begründung der Projektauswahl

Mittels einer kriteriengeleiteten Auswahl des zu modellierenden Systems *SuL* soll ein geeignetes Vorhaben als Untersuchungsgegenstand bestimmt werden. In Abschnitt 5.7 wurde ausgeführt, dass Projekte gerade in der Phase **vor der Bestimmung der Linie** eine besondere Relevanz für die Festlegung des Ordnungsprinzips von *SuL* besitzen. Ferner soll ein Straßenverkehrsprojekt mit klaren ökosystemaren und sozioökonomischen Bezügen ausgewählt werden, um bei der Modellbildung alle Systemdimensionen nach Abschnitt 3.4 abbilden zu können. Mithin ist zu beachten, dass Infrastrukturprojekte große Zeiträume umspannen können. In diesen Zeiträumen können sich u.a. die planungsrechtlichen, inhaltlichen und personellen Rahmenbedingungen ändern. Es scheint daher sinnvoll, Projekte auszuwählen, welche sich gerade im Prozessschritt des Raumordnungsverfahrens bewegen oder dieses vor kurzem abgeschlossen haben. Zudem sollte das Raumordnungsverfahren soweit fortgeschritten sein, dass die für die Modellbildung relevanten Daten existieren und ein Zugriff auf diese möglich ist. Zusammenfassend soll ein Vorhaben nach den folgenden Kriterien für die Case-Study ausgewählt werden:

- Vorhaben, welche das Raumordnungsverfahren in den letzten fünf Jahren abgeschlossen haben oder welche kurz vor dem Abschluss stehen,

- Straßenverkehrsvorhaben,
- Vorhaben mit ökosystemaren und sozioökonomischen Bezügen,
- Vorhaben mit Zugriff auf die für die Modellbildung relevanten Daten.

Die Zugänglichmachung der Umweltverträglichkeitsstudie ist nach § 20 UVPG sowie über die Verordnung über zentrale Internetportale des Bundes und der Länder im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPPortV) geregelt. Die Suche nach möglichen Vorhaben erfolgte zunächst über die Suchfunktion des UVP-Portals der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Berlin, Bremen, Hessen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein, Saarland, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen, welches vom Landesbetrieb Geoinformatik der Freien und Hansestadt Hamburg betrieben wird (Abbildung 71).



Abbildung 71: Screenshot des UVP Portals der Bundesländer ohne Niedersachsen(Quelle: <https://www.uvp-verbund.de/startseite>).

Die Auswahl der Projekte fand zum Stichtag 1. April 2021 statt und erfolgte über Filteroptionen nach den folgenden Kriterien:

- Bundesländer: keine Einschränkung

- Kategorien: Verkehrsvorhaben
- Verfahrenstypen: Raumordnungsverfahren
- Aktualität: letzte 5 Jahre

Nach Straßenverkehrsvorhaben konnte nicht explizit ausgewählt werden. Drei Datensätze erfüllen die eingegebenen Filterkriterien (Tabelle 34).

*Tabelle 34: Suchergebnisse im UVP-Portal der Bundesländer.*

Bezeichnung	Datum	Verfahrensführende Stelle	Art des Vorhabens
<b>Raumordnungsverfahren für den Neubau der B 3 OU Elstorf mit Zubringer A 26</b>	20.10.2020	Landkreis Harburg, Niedersachsen	Straßenverkehrsvorhaben
<b>Raumordnungsverfahren (ROV) nach § 15 ROG für die Neubaulinien (NBS) Gelnhausen - Kalbach</b>	08.07.2020	Regierungspräsidium Darmstadt	Eisenbahninfrastrukturvorhaben
<b>B 312 Biberach-Ringschnait bis Erlenmoos-Edenbachen; Raumordnungsverfahren nach § 15 Raumordnungsgesetz i.V.m. §§ 18, 19 Landesplanungsgesetz (PplG BW)</b>	06.07.2018	Regierungspräsidium Tübingen	Straßenverkehrsvorhaben

Das Land Niedersachsen wird in der Auflistung des Internetportals der Bundesländer unter Menüpunkt „Über uns“ nicht genannt. Dennoch finden sich in der Ergebnisdarstellung auch Vorhaben aus diesem

Bundesland. Trotzdem wird die Suche auch auf die Suchseite des Internetportals des Landes Niedersachsen ausgeweitet, um ausschließen zu können, dass Vorhaben bei der Suche nicht berücksichtigt wurden. Die Suche wird daher zusätzlich über die Suchfunktion des Internetportals des Landes Niedersachsen ausgeweitet (Abbildung 72).

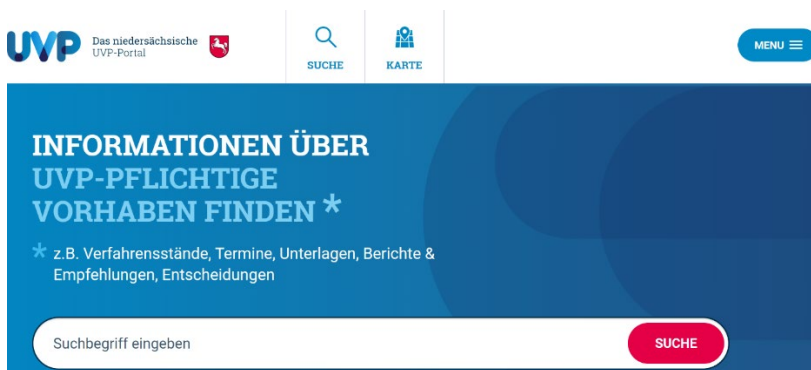


Abbildung 72: Screenshot des UVP Portals von Niedersachsen (UMWELT 12.04.2022).

Die Auswahl der Projekte fand zum Stichtag 1. April 2021 statt und erfolgte über Filteroptionen nach den folgenden Kriterien:

- Kategorien: Verkehrsvorhaben
- Verfahrenstypen: Raumordnungsverfahren
- Aktualität: letzte 5 Jahre

Ein Datensatz erfüllt die eingegebenen Filterkriterien (Tabelle 35). Das Vorhaben ist identisch mit einem der im UVP-Portal der Länder genannten Projekte (Tabelle 34).

*Tabelle 35: Suchergebnisse im UVP-Portal des Landes Niedersachsen.*

Bezeichnung	Datum	Verfahrensführende Stelle	Art des Vorhabens
<b>Raumordnungsverfahren für den Neubau der B 3 OU Elstorf mit Zubringer A 26</b>	20.10.2020	Landkreis Harburg, Niedersachsen	Straßenverkehrsvorhaben

Aus den Ergebnissen der Suche werden die Verfahren dahingehend überprüft, ob sie die zu Beginn des Abschnitts genannten Kriterien erfüllen. Alle drei genannten Vorhaben sind UVP-pflichtig, weswegen eine ökosystemare Relevanz unterstellt werden kann. Bei der NBS Gelnhausen – Kalbach handelt es sich um ein Eisenbahninfrastrukturvorhaben, weswegen dieses Vorhaben nicht weiter betrachtet wird. Bei den verbliebenen Vorhaben ist jeweils ein unmittelbarer räumlicher Bezug zu Ortschaften vorhanden. Sie beinhalten die Umfahrung von Ortschaften, dienen verkehrlichen Zielen und der Entlastung von Siedlungsgebieten und haben damit eine ähnliche sozioökonomische Bedeutung. Allerdings dient der Neubau der B 3 OU Elstorf der A 26 als Zubringer, weswegen diesem Vorhaben eine übergeordnete Bedeutung zukommt. Für das Vorhaben B 312 Biberach-Ringschnait bis Erlenmoos-Edenbachen ist gemäß Internetportal der Bundesländer die öffentliche Auslegung im Zeitraum zwischen dem 16.07.2018 und 20.08.2018 erfolgt. Weitere Daten liegen nicht vor; auch wurden im Portal keine Unterlagen hinterlegt. Die Auslegung der Unterlagen für das Vorhaben Neubau der B 3 OU Elstorf mit Zubringer A 26 erfolgte im Zeitraum vom 13.02.2020 bis 13.03.2020. Der Erörterungstermin fand am 01.07.2020 statt. Die Entscheidung in Form der Landesplanerischen Feststellung zum Raumordnungsverfahren mit integrierter Umweltverträglichkeitsprüfung wurde am 15.10.2020 getroffen. Das

Portal bietet zudem Zugriff auf relevante Daten des Vorhabens, insbesondere dem UVP-Bericht, den Auslegungsinformationen, den Informationen zum Erörterungstermin, den Auslegungsinformationen und die Landesplanerische Feststellung (UMWELT 12.04.2022).

Der Neubau der B 3 OU Elstorf mit Zubringer zur A 26 erfüllt demnach als einziges der untersuchten Projekte alle zuvor genannten Kriterien und soll im Rahmen der Case-Study betrachtet werden.

### 6.2.2 Hintergrund und Ziele des Vorhabens Ortsumfahrung Elstorf

In der Anlage 1 zum BVWP 2030 wird die OU Elstorf u.a. wegen des hohen Nutzen-Kosten-Verhältnisses als Vorhaben des vordringlichen Bedarfs (VB) eingestuft (PRINS 08.03.2021). In Abschnitts 5.5.4 wird darauf verwiesen, dass diese Einstufung in die Dringlichkeitsstufe VB für die betreffenden Vorhaben den Übergang in die Planungsstufe der Vorplanung kennzeichnet – dies ist mit dem Planungsauftrag im August 2016 erfolgt (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG).

Gemäß Bundesstraßenverzeichnis (BVERZ 2009) verläuft die B 3 über 755 km in Nord-Süd-Richtung zwischen Neu Wulmstorf – Ovelgönne und BG Weil am Rhein/CH. Sie verbindet nahe der Einheitsgemeinde Neu-Wulmstorf die beiden Mittelzentren Buxtehude und Buchholz in der Nordheide und durchquert südlich von Buxtehude den Ortsteil Elstorf, welcher ein Ortsteil von Neu-Wulmstorf ist. Zukünftig ist geplant, dass die B 3 als Zubringer für die A 26 dient, welche bis zur A 7 weiter ausgebaut wird (Abbildung 73). Zur Bündelung des Verkehrs und zur Entlastung der Ortslage Elstorf soll der Verlauf als OU gestaltet werden (vgl. NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG).



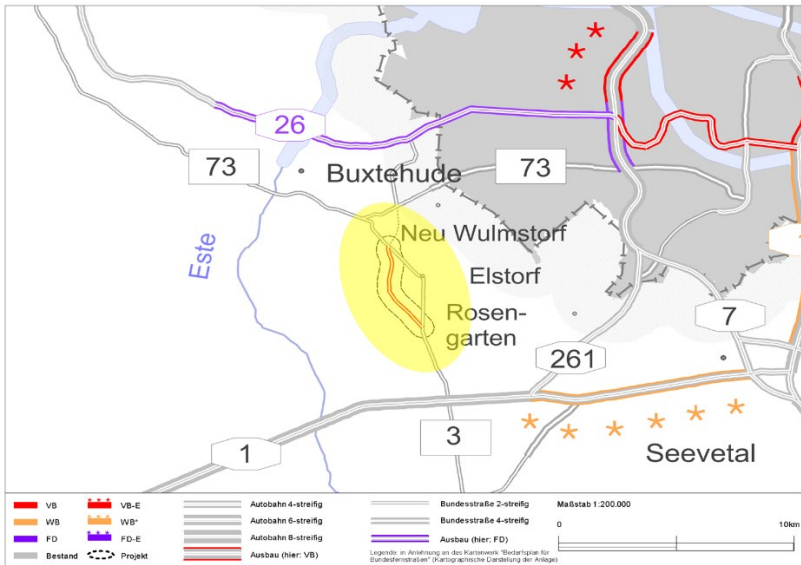


Abbildung 73: Räumliche Einordnung des Vorhabens gelb markiert, geändert nach (PRINS 08.03.2021).

In den Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN) werden Verbindungen zwischen Mittelzentren der **Verbindungsfunktionsstufe II** zugeordnet (vgl. Abbildung 50 in Abschnitt 5.5.3). Aus Tabelle 18 lässt sich aus der Lage als Landstraße und dem Merkmal *außerhalb bebauter Gebiete* die **Kategoriengruppe LS** ableiten. Die Verknüpfung der Verbindungsfunktionsstufe II mit der Kategoriengruppe LS ergibt die **Straßenkategorie LS II** (vgl. Tabelle 19). Gemäß Tabelle 22 kann der Straßenkategorie LS II die **Entwurfsklasse EKL 2** zugeordnet werden.

Daraus ergeben sich die folgenden **Trassierungsgrenzwerte** für die Ortsumfahrung Elstorf (Tabelle 23):

- Planungsgeschwindigkeit: 100 km/h
- Verkehrsstärke:  $\leq 16.000$
- Querschnitt: RQ 11,5+

Abbildung 51 zeigt den Regelquerschnitt der geplanten Ortsumfahrung Elstorf. In der Planung sollen nach RAL bei diesem Querschnitt gesicherte Abschnitte zum Überholen in einem Umfang von mehr als 20 % der Streckenlänge (je Fahrtrichtung) berücksichtigt werden.

Die anbaufreie Gestaltung der Ortsumfahrung mit Überholungsmöglichkeiten soll die Verkehrssicherheit erhöhen. Gleichfalls bedeutet die Umfahrung der Ortslage eine verkehrliche Entlastung von Elstorf (vgl. NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG).

Die Einheitsgemeinde Neu Wulmstorf besteht aus den Ortsteilen Neu Wulmstorf, Elstorf, Rade, Rübke und Schwiederstorf. Diese Ortsteile untergliedern sich weiterhin aus in die in Tabelle 36 genannten Einheiten. Sie hat 21.499 Einwohner (LANDESAMT FÜR STATISTIK NIEDERSACHSEN 2022).

*Tabelle 36: Ortsteile der Einheitsgemeinde Neu Wulmstorf (WULMSTORF 11.01.2018).*

<b>Ortsteil</b>	<b>Zugeordnete Gemeindeteile</b>
<b>Neu Wulmstorf</b>	Neu Wulmstorf, Wulmstorf, Daerstrorf
<b>Elstorf</b>	Elstorf, Ardestorf, Bachheide
<b>Rade</b>	Rade, Ohlenbüttel, Mienenbüttel
<b>Rübke</b>	
<b>Schwiederstorf</b>	

In Abbildung 74 sind die Grenzen der Einheitsgemeinde Neu Wulmstorf in Rot dargestellt. Der Planungsraum ist orange markiert. Daraus wird ersichtlich, dass durch die mögliche Ostumfahrung zunächst die Ortsteile Neu Wulmstorf, Wulmstorf, Daerstrorf, Elstorf und Schwiederstorf und durch eine mögliche Westumfahrung die Ortsteile Elstorf-Bachheide, Elstorf und Ardestorf betroffen wären, sowie zusätzlich die zur Gemeinde Buxtehude gehörenden Ortsteile Ketzendorf und Ovelgönne.

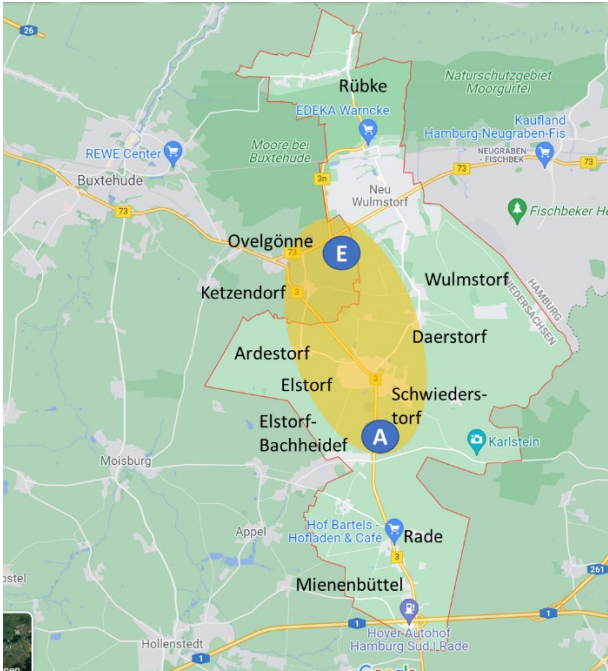


Abbildung 74: Verortung des Planungsraums mit Beginn (A) und Ende (E) der Ortsumfahrung Elstorf (MAPS.GOOGLE 12.04.2022)

Auf der Karte ist nördlich von Buxtehude das Ende der sich im Bauzustand befindlichen A 26 zu erkennen. Diese soll die stark befahrene Bundesstraße 73 (B 73) entlasten (vgl. NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG)

Im Zuge der Linienfindung wurde eine Vielzahl möglicher Trassen untersucht (Abbildung 75).

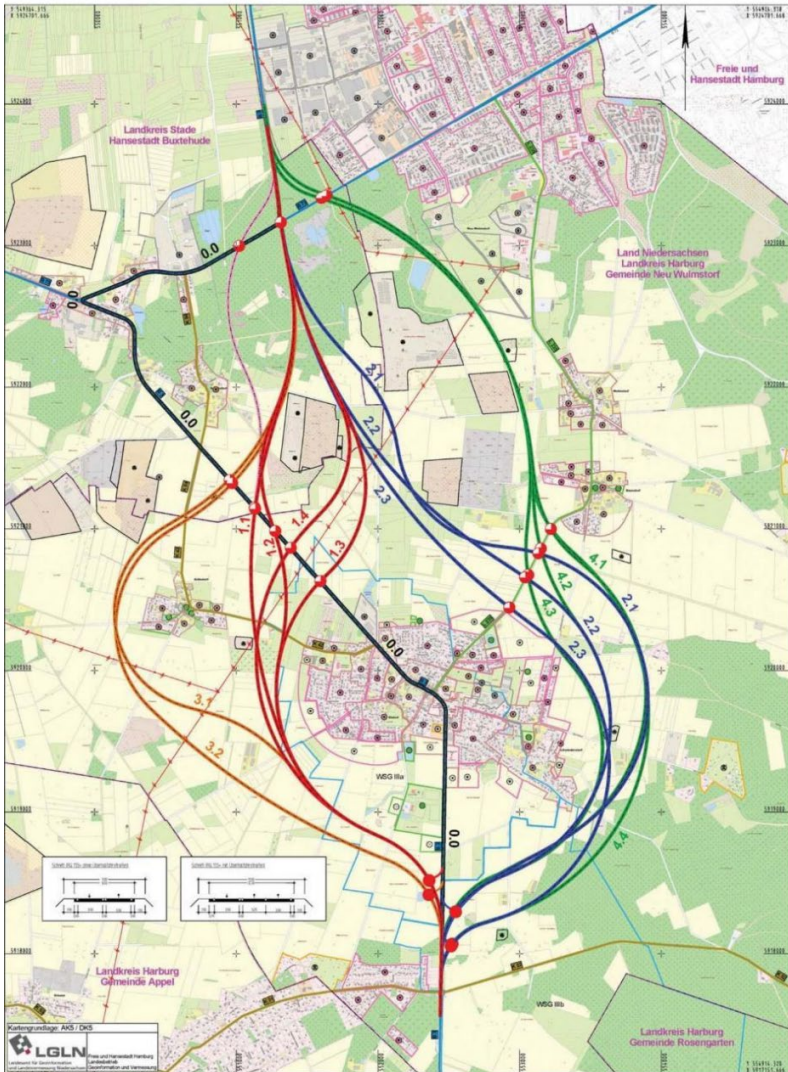


Abbildung 75: Untersuchte Trassenvarianten im Planungsraum (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG)

In der Abbildung 76 sind einige für die Trassierung wesentliche Parameter vergleichend dargestellt.

Variante	Verlauf	Länge	Radien	DTVw	Kosten
			R = [m]	(Kfz/24h) 2.BA / 3.BA	Mio. € Mio. €/km
V1.1	westl. Deponie Ketzendorf I+II zwischen Elstorf / Ardestorf über Obsthof	6,030 km	700 bis 3.300	15.600 15.300	56,938 9,442
V1.2	westl. Deponie Ketzendorf I+II zwischen Elstorf / Ardestorf östlich Obsthof	6,030 km	700 bis 2.700	15.500 15.300	51,575 8,553
V1.3	östl. Deponie Ketzendorf I+II zwischen Elstorf / Ardestorf östlich Obsthof	6,080 km	600 bis 2.700	15.100 15.300	51,590 8,485
V1.4	östl. Deponie Ketzendorf I+II zwischen Elstorf / Ardestorf über Obsthof	6,310 km	600 bis 2.700	15.000 15.200	56,312 8,924
V2.1	östl. Deponie Ketzendorf I+II östl. Elstorf / Schwiederstorf	7,630 km	800 bis 1.500	13.800 8.400	61,410 8,048
V3.1	westl. Deponie Ketzendorf I+II westl. Ardestorf	7,110 km	570 bis 3.600	14.700 7.800	63,059 8,869
V4.1	östl. Sandgrube Wellmann östl. Deponie Neu Wulmstorf westl. Wulmstorf / Daerstorf östl. Elstorf / Schwiederstorf	7,720 km	400 bis 1.050	14.300 8.800	62,550 8,102
V5.1	östl. Ketzendorf zwischen Elstorf / Ardestorf östlich Obsthof	6,160 km	400 bis 1.200	14.400 13.600	53,591 8,700
V6.1	östl. Sandgrube Wellmann westl. Deponie Neu Wulmstorf zwischen Elstorf / Ardestorf östlich Obsthof	6,160 km	400 bis 3.000	15.100 15.400	53,037 8,255

Abbildung 76: Vergleichende Darstellung der Varianten (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG).

### 6.2.3 Methode

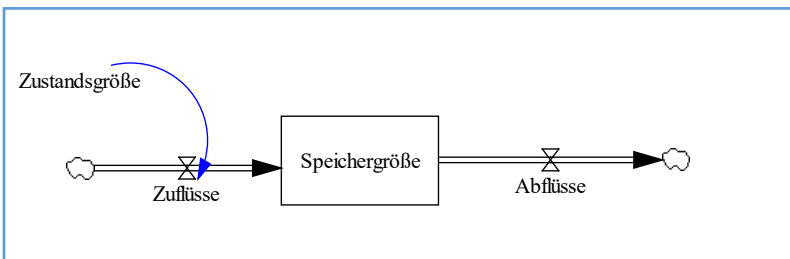
Die Forschungsfragen zielen darauf ab, *SuL* des Systems **Ortsum-fahrung Elstorf** als Modell abzubilden, um dessen Verhalten darzustellen. Es soll geprüft werden, ob das System ein Verhalten zeigt, welches durch sektorale Betrachtung seiner einzelnen Komponenten nicht darstellbar ist. Zudem soll untersucht werden, ob aus dem Modell heraus Aussagen über mögliche Instabilitätspunkte und Bifurkationsstellen im System getroffen werden können. Dies erfordert die Annahme der transzendierenden Schritte nach Abschnitt 3.8.2. Die Entitäten des Modells wurden in Abschnitt 5.7.5 identifiziert und lassen sich den vier Systemdimensionen *sozial*, *technisch*, *abiotisch* und *biotisch* zuordnen. Aus diesen Entitäten soll zunächst ein **qualitatives Modell** entwickelt werden, anhand dessen relevante Bereiche für eine mögliche Entwicklung eines **quantitativen** simulationsfähigen Teilmodells identifiziert werden können.

In den Abschnitten 3.3 und 3.6 wird ausgeführt, dass das System *SuL* ein dynamisch komplexes System ist. Die Modellierung eines dynamischen Systems erfordert ein entsprechendes Werkzeug, weshalb sie mit der **Systems Dynamics Methode** durchgeführt werden soll.

„System dynamics is a methodology for studying and managing complex systems that change over time“ (FORD 2010). Damit werden „Denkmodelle in Computermodelle“ (BOSEL 2004) übersetzt. Für die Modellbildung werden **Verhaltens-** von **Speichergrößen** unterschieden. Während Verhaltensgrößen die Änderungen des Systemzustands in Abhängigkeit von der Zeit bewirken, zeigen Speichergrößen den Zustand des Systems zu jedem Zeitpunkt (vgl. BOSEL 2004).

Systeme bestehen nicht nur aus diesen Entitäten, sondern auch aus den Verbindungen zwischen diesen Entitäten (**Flows**). „A system is an interconnected set of elements that is coherently organizes in a way that achieves something“ (MEADOWS & WRIGHT 2011). Die Speichergrößen zeigen die Zu- und Abflüsse im System und damit die Ursachen und Auswirkungen der Speicheränderungen. Die Darstellung

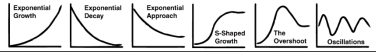
des Modells erfolgt als **Stocks-and-Flows-Diagramm**. Die Speichergrößen werden in Kästen, die Zustandsgrößen als Worte abgebildet. Von den Zustandsgrößen gehen die Zu- und Abflüsse, dargestellt als Rohre mit Ventilen, ab. Es kann hilfreich sein, sich die Speichergröße als ein Gefäß vorzustellen, welches einen oder mehrere Ablasshähne (Abflüsse) sowie einen oder mehrere Einlasshähne (Zuflüsse) hat (*Abbildung 77*). Ein System kann sich aus mehreren Speicher- und Zustandsgrößen zusammensetzen.



*Abbildung 77: Prinzipdarstellung eines Stocks-and-Flows-Diagramms mit einer Speichergröße (eigene Darstellung).*

FORD (2010) beschreibt den Modellierungsprozess dynamischer Systeme in acht Schritten, wobei die ersten fünf Schritte vorwiegend eine qualitative, die nachfolgenden Schritte eine quantitative Modellbildung im Fokus haben (Tabelle 37).

Tabelle 37: Die acht Schritte im Modellbildungsprozess nach FORD (2010).

Schritt	Tätigkeit	Erläuterungen
1	Mit dem Problem vertraut machen	
2	Definition des Referenzmodells	
3	Modellformulierung	Stocks, Flows
4	Feedback	Causal Loop Diagramme
5	Abschätzen der Parameter	Ab hier <b>quantitative</b> Modellierung
6	Simulationsläufe	
7	Sensitivitätsanalyse	
8	Policy Tests	

Das Vorgehen in diesem Abschnitt beschäftigt sich daher zunächst mit einer qualitativen Modellbildung von *SuL*, um sich danach Teilbereichen zuzuwenden, welche quantitativ modelliert und simuliert werden sollen. Dies erfolgt aus Gründen der Reduktion von Komplexität getrennt für die ökosystemaren und sozioökonomischen Systemdimensionen, um diese nach der Modellbildung miteinander zu koppeln.

In Abschnitt 6.3 soll dazu eine **Inhaltsanalyse der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS)** der Ortsumfahrung durchgeführt werden, um die wesentlichen ökosystemaren Entitäten des Vorhabens, neben den in der UVS erkannten Wechselwirkungen, zu identifizieren. Das Vorgehen basiert auf den Erkenntnissen der **Grounded Theory** (vgl. DÖRING 2016). Daraus soll in Abschnitt 6.4 ein **qualitatives Modell der ökosystemaren Systemdimensionen** abgeleitet werden.

Wie in Abschnitt 5.7.5 festgestellt wurde, sollten für eine vollständige Erfassung des Systems *SuL* auch die Entitäten *Mensch*, *Gesellschaft* und *Wirtschaft* sowie die *Straße* berücksichtigt werden. Diese Informationen lassen sich nicht allein aus der UVS entnehmen, weshalb



u.a. deren wesentlichen Wirkzusammenhänge mittels einer **Delphi-Studie** exploriert werden. Die einzelnen Fragestellungen werden aus der Anwendung der **Facettentheorie** entwickelt (vgl. Abschnitt 6.5). Das im Rahmen der Delphi-Studie entwickelte Modell wird in Abschnitt 6.6 mithilfe der Software **Vensim PLE** in ein **qualitatives Modell der sozioökonomischen Systemdimensionen** überführt.

Abschnitt 6.7 beschäftigt sich mit der Kopplung und Analyse der beiden qualitativen Teilsysteme. Daraus werden in Abschnitt 6.8 **simulationsfähige mathematische Teilmodelle** erarbeitet, simuliert und analysiert.

Die Ergebnisse werden in Abschnitt 9 diskutiert und im Hinblick auf die Fragestellungen bewertet.

Die Abbildung 78 zeigt das methodische Vorgehen der Modellbildung.

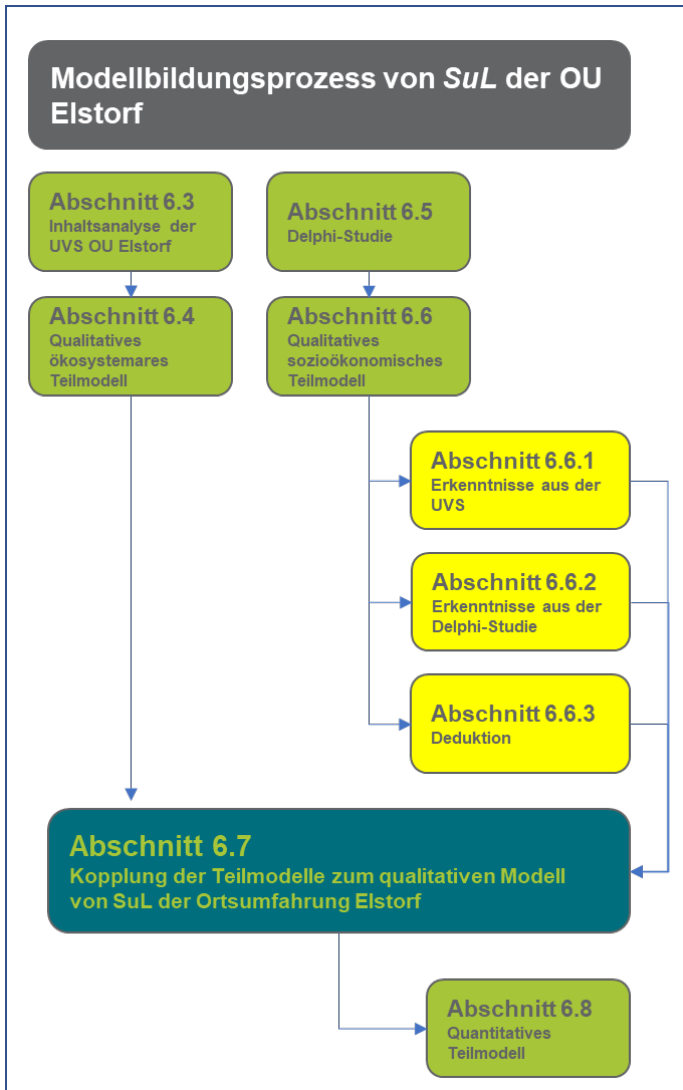


Abbildung 78: Methodisches Vorgehen der Modellbildung des Systems SuL am Beispiel der OU Elstorf (eigene Darstellung).

## 6.3 Inhaltsanalyse der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) zur Ortsumfahrung Elstorf

### 6.3.1 Fragestellung

Die Inhaltsanalyse der UVS der OU Elstorf geschieht mit der Absicht, die wesentlichen Auswirkungen des Vorhabens OU Elstorf auf die Entitäten der **sozioökonomischen** sowie **ökosystemaren** Systemdimensionen zu explorieren.

Aus den gewonnenen Daten soll in Abschnitt 6.4 ein qualitatives ökosystemares Teilmodell von *SuL* des Vorhabens OU Elstorf abgeleitet werden. Ferner bilden die Erkenntnisse zu den Schutzgütern, welche den sozioökonomischen Systemdimensionen zugehören, einen wesentlichen Baustein für die Entwicklung des qualitativen sozioökonomischen Teilmodells der OU Elstorf in Abschnitt 6.4.

### 6.3.2 Material und Methode

Das methodische Vorgehen vereint Merkmale der zusammenfassenden und der **induktiven qualitativen Inhaltsanalyse**. In einem ersten Schritt ist das Vorgehen durch eine **zusammenfassende Inhaltsanalyse** gekennzeichnet. Darin werden aus dem Text wesentliche Aussagen extrahiert, um diesen komprimiert darstellen zu können (vgl. FLICK 2015, DÖRING 2016).

Um diese Aussagen zu einem Modell entwickeln zu können, werden wesentliche Inhalte in ein Tabellenkalkulationsprogramm (EXCEL) eingearbeitet. Die **Kategorienbildung** erfolgt einerseits durch die **induktive Methode**, indem auf der Basis der Fragestellung die Kategorien aus der UVS schrittweise gebildet werden. Dies erfordert zunächst eine erste Definition der Kategorien. Dies wird umgesetzt, indem die Auswirkungen des Vorhabens anhand von im Text genannten Ursache-Wirkungs-Beziehungen betrachtet werden und daher jeweils die **Kategorien Schutzgut / Entität** als **Ursache** sowie als **Wirkung** benannt werden. Damit können die Auswirkungen des Vorhabens den

einzelnen Schutzgütern zugeordnet werden. Nach Sichtung von etwa 30 % des Materials gestaltete sich diese Einteilung jedoch als zu grob, insbesondere da das Schutzgut Tiere in der UVS noch weiter unterteilt wird. Dem Durchführenden der Studie erscheint es daher geraten, Unterkategorien zu bilden, indem beispielsweise auf Fledermäuse, Vögel oder Amphibien eingegangen wird.

Durch die Angabe der Wirkreichweite in der UVS kann unterschieden werden, ob die **Wirkung zeitlich befristet**, also in der **Bauphase**, oder **dauerhaft** in der Phase der **Nutzung** auftritt. Ebenso konnte am Beispiel der Straße identifiziert werden, ob die Wirkung durch die **Präsenz des Gegenstandes Straße** oder durch die **verkehrliche Nutzung** entsteht.

Im letzten Schritt werden die Kategorien der Entitäten sowie deren Wirkzusammenhänge logisch deduktiv zu Wirkketten zusammengeführt.

### 6.3.3 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgt im Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL. Erfasst werden die folgenden Daten:

- Fundstelle in der UVS (Seitenzahl)
- Ursachenentität
- Wirkreichweite (Bauphase, Anlage, Betrieb)
- Ursprungstext der beschriebenen Wirkung
- ergänzende Detailinformationen aus dem Ursprungstext (dienen der Möglichkeit, die Wirkungen quantifizierbar zu machen)
- fortlaufende Nummerierung der Datensätze

Daraus wurden folgende Datensätze abgeleitet:

- Kodierung der Wirkungen
- semantische Darstellung der Interdependenzen und Wirkketten
- Darstellung der Wirkbeziehungen
- eigene Anmerkungen
- Einteilung der Wirkentität als sozioökonomische Entität (ja/nein)

Insgesamt wurden 68 Datensätze erfasst und bearbeitet.

### 6.3.4 Ergebnisse

Die Daten werden nach deren Erfassung und Beurteilung auf Wirkbeziehungen zwischen einzelnen Entitäten und auf das Vorhandensein von Wirkketten untersucht. Die Nomenklatur geschieht nach der Einteilung in Tabelle 38.

Tabelle 38: Arten der Wirkbeziehungen zwischen Schutzgütern (verändert nach CARROLL (2017)).

Zeichen	Bedeutung	Beispiel
$X \rightarrow Y$	X reguliert Y positiv	Eine Zunahme der Nahrung X führt zu einer Zunahme der Population Y, während eine Abnahme der Nahrung X zu einer Abnahme der Population Y führt.
$X \vdash Y$	X reguliert Y negativ	Eine Zunahme der Population von Räuber X führt zu einer Abnahme der Population der Beute Y, während eine Abnahme der Population des Räubers X zu einer Zunahme der Population der Beute Y führt.

Durch die Unterscheidung der Wirkreichweite, insbesondere zwischen anlage- und betriebsbedingten Wirkungen, lassen sich bereits zwei wesentliche Wirkgruppen bestimmen. Dies ist einerseits die Wirkgruppe, welche sich durch den **Flächenverbrauch** durch die Anlage der Straße kennzeichnet, und andererseits die Wirkgruppe, welche sich durch den auf der Straße bewegenden **Verkehr** bestimmt. Dies wurde bereits durch die Kategorien in der Erhebung sowie in der Anwendung der Nomenklatur durch die Entitäten **Fläche** und **Verkehr** berücksichtigt.

Im Ergebnis fällt auf, dass die Entität **Straße** in allen Nennungen Ursache der Auswirkungen ist. Dies ist auch nicht verwunderlich, da nach § 3 UVPG die Umweltprüfung die „Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der erheblichen Auswirkungen eines Vorhabens [...] auf die Schutzgüter“ umfasst. Das Vorhaben der OU Elstorf besteht im Bau einer Umgehungsstraße (vgl. NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG), **weshalb die Straße** in der UVS **methodenimmanent** für

alle Auswirkungen nach den Regelungen des UVPG **als Ursache** betrachtet wird. Es ist jedoch offensichtlich, dass die Straße, obschon einerseits in der UVS als Ursache betrachtet, andererseits im gesamten Kontext aber auch als Wirkung eines Inputs gesehen werden kann (Abbildung 79).

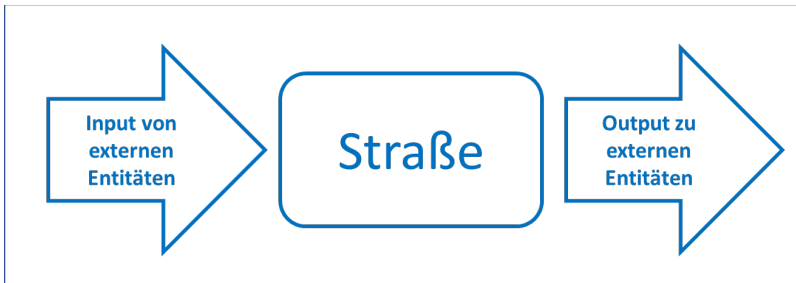


Abbildung 79: Die Stellung der Straße in der Wirkkette zwischen Planung und Auswirkung des Vorhabens (eigene Darstellung).

Die in der UVS beschriebenen Gesetzmäßigkeiten zwischen den Entitäten innerhalb der sozioökonomischen und ökosystemaren Systemdimensionen werden als Wirkketten nach der Nomenklatur aus Tabelle 38 semantisch dargestellt (vgl. Anhang 2).

Beispiel:

Straße → Fläche → Barrierewirkung † Möglichkeit des Austauschs zwischen Laichgewässern  
† Auswirkungen auf Amphibien

### 6.3.5 Diskussion und Ausblick

In Nr. 0.6.2.1 UVPVwV wird gefordert, die Auswirkungen auf die Umwelt u.a. qualitativ durchzuführen, insbesondere da eine quantitative Bewertung als „grundsätzlich unmöglich“ angesehen wird. Die vorliegende Inhaltsanalyse zeigt, dass die Auswirkungen ihren Ursprung im Bau der Straße haben. Wirkbeziehungen wurden in der UVS nicht nur zwischen jeweils zwei Entitäten betrachtet, sondern es wurden Wirkketten beschrieben und erläutert. Teilweise wurden neben qualitativen

Angaben auch quantitative Wirkungen beschrieben, beispielsweise indem konkret auf Flächenverluste in Hektar, Wanderbewegungen in Meter oder Lärmbelastungen in dB(A) eingegangen wird. Damit geht die vorliegende UVS in Teilbereichen über die zuvor genannte Forderung in der UVPVwV hinaus.

In Nr. 0.3 UVPVwV wird ferner beschrieben, was unter Auswirkungen eines Vorhabens auf die Umwelt verstanden werden kann. Darunter fallen u.a. Ursachenketten sowie das Zusammenwirken mehrerer Ursachen. Letzteres ist aus der Ergebnisdarstellung nicht ablesbar. Beispielhaft seien hier die in drei Wirkketten beschriebenen Auswirkungen auf Brutvögel genannt:

Straße + Fläche → Verlust von Waldflächen → Auswirkungen auf Brutvögel

Straße + Fläche → Verlust von Funktionsräumen → Auswirkungen auf Brutvögel

Straße + Fläche → Verlust von Brutrevieren → Auswirkungen auf Brutvögel

Es wird aus der UVS nicht ersichtlich, ob und wenn ja, wie stark diese Teilursachen auf welche Brutvögel wirken.

Ebenso wird beschrieben, dass die Wirkung **auf das System** betrachtet werden solle. Eine Beurteilung anhand der Darstellung, in Form einer Aneinanderreihung von Wirkketten, ist nicht möglich. Ferner ist der Zeithorizont der einzelnen Wirkungen in der UVS erwähnt; allerdings ist es nicht möglich, daraus ein konkretes dynamisches Verhalten des Systems *SuL* abzuleiten, da Dynamik einer Rückkopplung bedarf.

Zusammenfassend kann angemerkt werden, dass die Ergebnisdarstellung in Form einer Auflistung einzelner Wirkungsketten ausreicht, um die in der Fragestellung geforderten wesentlichen Auswirkungen des Vorhabens OU Elstorf auf die Entitäten der **sozioökonomischen**



sowie **ökosystemaren** Systemdimensionen zu explorieren. Allerdings werden zwischen den einzelnen Wirkketten neben der gemeinsamen Ursache kaum offensichtliche Zusammenhänge sichtbar.

Die Daten sollen daher in Abschnitt 6.4 mit der Systems Dynamics Methode zu einem Modell zusammengeführt werden.

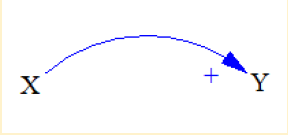
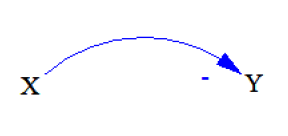
## 6.4 Qualitatives ökosystemares Modell der OU Elstorf

### 6.4.1 Bildung des qualitativen ökosystemaren Modells der OU Elstorf

Aus den Ergebnissen der Inhaltsanalyse der UVS Elstorf kann zunächst ein qualitatives ökosystemares Modell der OU Elstorf abgeleitet werden. Dazu werden die in Abschnitt 6.3.4 zusammengefassten ökosystemaren Wirkketten des Systems *SuL* der OU Elstorf in die **Systems Dynamics Software** Vensim Personal Learning Edition (**Vensim PLE**) eingepflegt. An einigen Stellen wurden logisch deduktive Ergänzungen oder Änderungen vorgenommen. Beispielsweise wurden zur besseren Unterscheidung zwischen dem Verkehr der Ortsumfahrung und jenem der Ortsdurchfahrt die Variablen als Verkehr OD und Verkehr OU benannt. Dies ist auch notwendig, da die Software jeden Variablennamen nur einmal vergibt. Ebenso wurden einige Variablennamen angepasst.

Die einzelnen Entitäten werden als Variablen (Variables) eingegeben. Einzelne Wirkbeziehungen werden als Pfeile (Arrows) dargestellt, wobei die Pfeilrichtung anzeigt, welche Entität eine jeweils andere Entität beeinflusst (Tabelle 39).

Tabelle 39 Arten der Wirkbeziehungen zwischen Schutzgütern und deren Darstellung in Vensim PLE (verändert nach CARROLL (2017)).

Zeichen	Bedeutung und Darstellung in Vensim PLE	Beispiel
$X \rightarrow Y$	<p>X reguliert Y positiv</p> 	<p>Eine Zunahme der Nahrung X führt zu einer Zunahme der Population Y, während eine Abnahme der Nahrung X zu einer Abnahme der Population Y führt.</p>
$X \vdash Y$	<p>X reguliert Y negativ</p> 	<p>Eine Zunahme der Population von Räuber X führt zu einer Abnahme der Population der Beute Y, während eine Abnahme der Population des Räubers X zu einer Zunahme der Population der Beute Y führt.</p>

### 6.4.2 Ergebnisse

Das Ergebnis der Modellbildung des ökosystemaren Systems *SuL* der OU Elstorf ist in Abbildung 80 dargestellt.

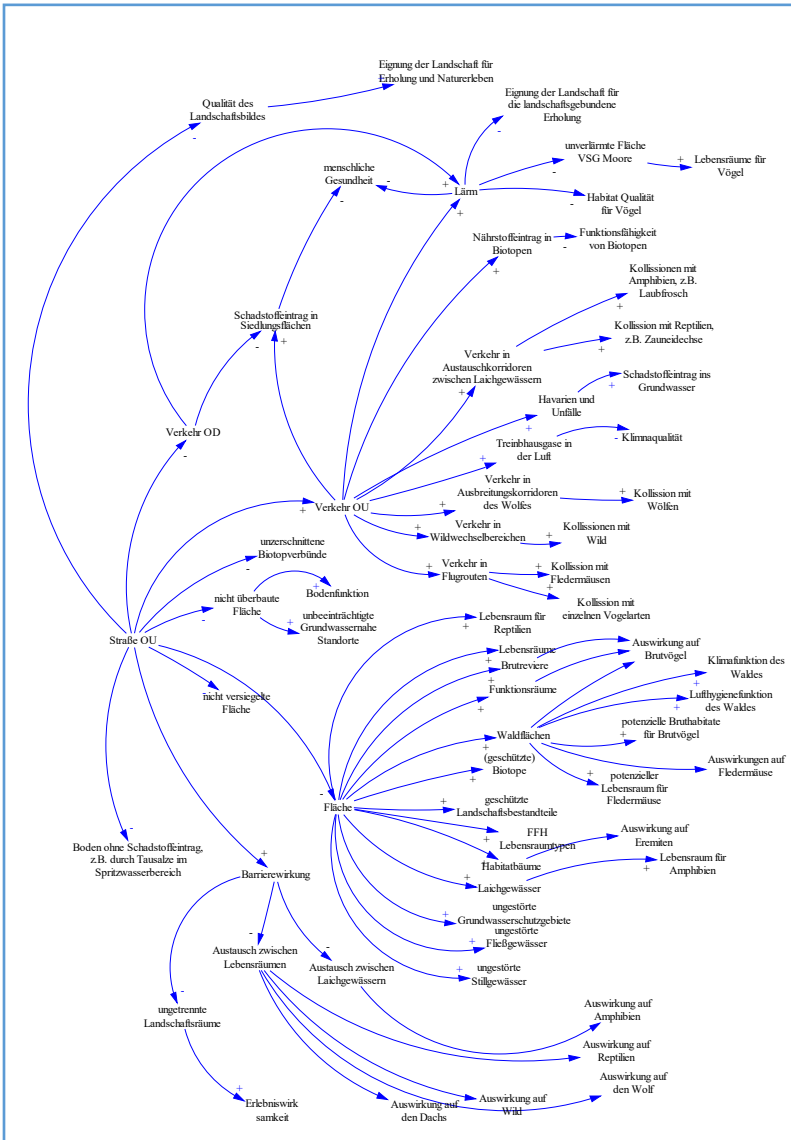


Abbildung 80 Qualitatives ökosystemares Teilsystem (eigene Darstellung).

Wie in Abschnitt 6.3.5 bereits diskutiert, sind auch in der Abbildung 80 die Wirkketten erkennbar. Die Darstellung in Vensim PLE zeigt ergänzend, wo diese Wirkketten untereinander in Beziehung stehen. Daraus lassen sich als Ergebnis folgende logisch-deduktiven Aussagen ableiten:

- Durch die schutzgutbezogene Betrachtung haben mehrere Kausalketten ihren Ursprung in Bau und Betrieb des Straßenkörpers.
- Die Darstellung zeigt auf, welche Entitäten eher aktiven oder passiven Charakter haben. Die Straße ist die einzige nur aktive Variable und wirkt auf neun weitere Entitäten. Die Fläche ist eine besonders aktive Variable und wirkt auf 13 weitere Entitäten, wobei sie selbst nur von der Straße beeinflusst wird. Auch die Variable Verkehr der OU wird nur von der Entität Straße beeinflusst, wirkt seinerseits jedoch auf acht Entitäten. Die Auswirkungen auf die Brutvögel hingegen ist eine rein passive Variable.
- Die Betrachtung in aktive oder passive Variablen ist bedeutsam bei der Suche nach Stellhebeln für die Lösung eines Problems in dynamischen Systemen. Hier ist es sinnvoller, die aktiven Variablen zu optimieren (vgl. VESTER 2015).

Die Auswertung der Beziehungen zeigt jedoch auf, dass keine Regelkreise existieren. Damit ist ein dynamisches Verhalten der abiotischen und biotischen Systemdimensionen aus der Analyse der UVS nicht darstellbar. Dennoch scheint es als nicht wahrscheinlich, dass im Ökosystem als Teilsystem von *SuL* der OU Elstorf keinerlei Rückkopplungen bestehen. BEETZ (2021) beschreibt, dass Rückkopplungen in der Natur vorhanden sind. Man kann davon ausgehen, dass die ökosystemisch emergenten Eigenschaften sowie deren „Synergien und Rückkopplungen“ (KNAPP et al. 2021) wichtig für das Ökosystem sind.

Wenn die Rückkopplungen aus den UVS nicht ableitbar sind, diese nach den Bestimmungen des UVPG sowie der UVPGVwV jedoch berücksichtigt werden sollen, dann lässt sich daraus ein weiterer Forschungsbedarf ableiten. Dies korrespondiert mit den Ergebnissen des Abschnitts 5.6, worin festgestellt wird, dass das Schutzgut Wechselwirkungen nach § 2 UVPG in den untersuchten UVS nicht hinreichend berücksichtigt wurde. Hier kann jedoch auch argumentiert werden, dass eine systemische Betrachtung durch die Fragestellung nach den Auswirkungen eines Vorhabens und damit eines einfachen Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs nicht gefördert wird.

Die Abbildung 81 zeigt die Dynamik im Verhalten ausgewählter Entitäten durch den Bau der Straße zum Zeitpunkt „T“ auf der Grundlage des Modells aus Abbildung 80. Man kann erkennen, dass durch den Bau der Straße der Verkehr auf der OU im Zustandsraum einen Sprung von Null nach oben macht und dann konstant bleibt, wohingegen der Verkehr in der OD sprunghaft abnimmt. Die Werte auf der Ordinate sind dimensionslos. Die Auswirkungen machen ebenso einen Sprung nach oben und bleiben dann gleich.

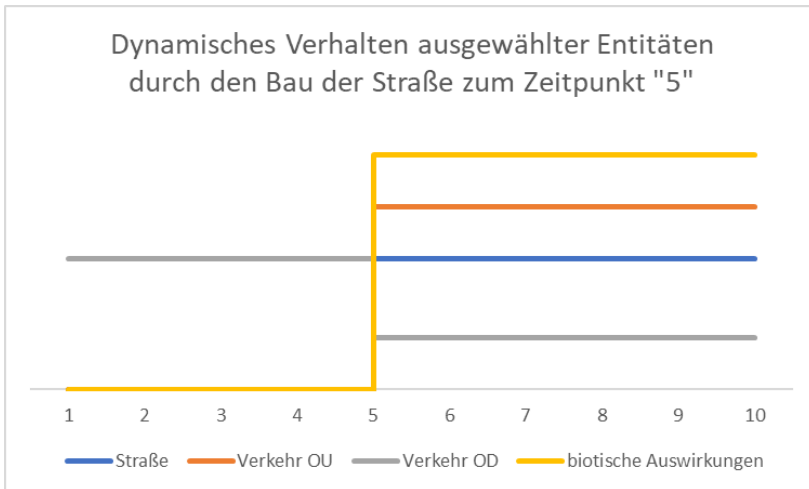


Abbildung 81 Dynamisches Verhalten ausgewählter Entitäten durch den Bau der Straße zum Zeitpunkt 5 (eigene Darstellung).

Dieses Verhalten ist auf das vorliegende Modell bezogen und wird aus den zuvor genannten Gründen nicht das tatsächliche Verhalten abbilden. Einige Wirkungen treten u. U. erst mit Verzögerung oder in einem übergeordneten System auf, beispielsweise die Auswirkung des Verlustes von Waldflächen auf das Klima.

## 6.5 Delphi-Studie zu Zielen, Problemen und Ursachen in Projekten der Verkehrsinfrastruktur

### 6.5.1 Anlass und Problemstellung

In Abschnitt 3.9 wurde vorgeschlagen, der Komplexität des Systems *SuL* mit der Dekomposition, Modellbildung und Simulation des Systems zu begegnen. Im Zuge der Dekomposition von *SuLT* wurde ersichtlich, dass zu dessen vollständiger Erfassung die Schutzgüter

nach § 2 UVPG, die sozioökonomischen Entitäten Mensch, Gesellschaft, Wirtschaft und Straße sowie deren Wechselwirkungen untereinander in die Modellbildung einbezogen werden sollen (vgl. Abschnitt 5.7.5).

Da gerade diese Daten nicht in der UVS erfasst werden, sollen sie mittels einer Delphi-Studie exploriert werden. Damit wird das Ziel verfolgt, gemeinsam mit wesentlichen Akteur:innen des Gegenstands der Case Study einen möglichen Konsens über Elemente der Grundstruktur und damit über das Ordnungsprinzip des Systems zu eruieren.

Die Transformation von *SuL* bei Verkehrsvorhaben wird durch das *P-System* vorangetrieben und folgt einem methodischen und zielgerichteten Handeln. Im Vordergrund stehen für die Handelnden das Wissen über die Ziele, die Mittel und Umstände des Handelns (vgl. Abschnitt 4.4). In Abschnitt 4.5 wurde ausgeführt, dass das Zielsystem komplex und mehrdimensional ist und dass die zu lösenden Probleme **wicked Problems** sind. Es wurde ferner vorgeschlagen, ein von partikularen Interessen entkoppeltes übergeordnetes Ziel zu definieren. Dies wurde in Abschnitt 4.11 mit der Stabilität des Systems *SuL* konkretisiert.

Die Delphi-Studie befasst sich mit den Zielen, den wahrgenommenen Problemen und den die Probleme beeinflussenden Faktoren. Schließlich widmet sie sich der Frage nach der Zustimmung der Expert:innen zu einem übergeordneten Ziel **Stabilität des Systems SuL**.

Als Ergebnis werden qualitative Aussagen erwartet, mit Hilfe die Systemstruktur von *SuL* um die Entitäten Mensch, Gesellschaft, Wirtschaft und Straße erweitert werden kann, um diese in einem Folgeschritt in ein Modell der sozioökonomischen Systemdimensionen zu überführen (vgl. Abschnitt 6.6.2).

## 6.5.2 Der Delphi-Ansatz

Aufgrund der Interdisziplinarität des Vorhabens OU Elstorf soll die Expertise von Fachleuten unterschiedlicher Disziplinen herangezogen

werden. Dazu müssen Aussagen zu Abhängigkeiten über das jeweilige Fachgebiet der Expert:innen hinaus getroffen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass hinsichtlich einzelner Fragestellungen zwischen unterschiedlichen Akteur:innen ein Konfliktpotenzial besteht. Der Modellzweck besteht darin, das tatsächliche Verhalten nachzubilden, also die Wirkbeziehungen auch zu bewerten. Es ist jedoch notwendig, dass die Expert:innen zumindest eine statistische Gruppenantwort liefern. Dazu soll zu den jeweiligen Aussagen ein Feedback erfolgen. Dies könnte auch im Rahmen einer **Gruppendiskussion** geschehen. Nachteilig können sich Faktoren wie Gruppenzwang oder Meinungsführerschaft auswirken (vgl. HÄDER 2014).

Dies lässt sich verhindern, indem man eine anonymisierte Befragung mit Feedback durchführt. Es besteht dann jedoch die Notwendigkeit, dieses Verfahren iterativ zu wiederholen, und zwar aufgrund der etwaigen/möglichen Konflikte und dem damit verbundenen Nichtvorhandensein einer Einigung. Hier bietet sich die Durchführung einer Delphi-Studie an. Ihr Vorteil „gegenüber [der] einmaligen Expertenbefragungen besteht in der gezielten Auslösung kognitiver Prozesse und in der dadurch verbundenen Verbesserung der Expertenurteile“ (HÄDER 2014). Die Methode ist zwar vergleichsweise aufwendig, zeichnet sich jedoch dadurch aus, dass man effizient zu einem Gruppenkonsens gelangt. Zudem ist die Anonymität einzelner Rückmeldungen charakteristisch (vgl. DÖRING 2016).

Bei einem Delphi-Verfahren werden „in einem iterativen Prozess Expertenurteile zu einer bestimmten Fragestellung ermittelt [...] mit dem Ziel, Konsens und Dissens in den Urteilen zu erfassen“ (SCHULZ & RENN 2009). Die Methode ermöglicht neben der Erfassung einer Gruppenmeinung auch eine strukturierte Steuerung der Diskussionsprozesse (vgl. HÄDER & HÄDER 2000).

Der Hauptgegenstand des Forschungsprojekts umfasst daher die Vorbereitung und Durchführung eines Erkenntnisprozesses mittels einer Delphi-Studie, um einen Konsens der relevanten Expert:innen hinsichtlich wesentlicher Bestandteile der Systemstruktur herzustellen.



## 6.5.3 Studiendesign und Ablauf

### Design

Die Studie zu Zielen, Problemen und Einflussfaktoren in Infrastrukturprojekten umfasst **drei Fragestellungen** in der ersten Befragungsrunde. Es wird bewusst darauf verzichtet, darüber hinaus den Umfang zu erweitern, um die Akzeptanz der Befragung zu erhöhen und die Panelmortalität zu minimieren. Die einzelnen Fragestellungen werden aus der Anwendung der Facettentheorie entwickelt, wonach „[j]ede wissenschaftliche Tätigkeit [...] im Prinzip in der Zerlegung abstrakter Sachverhalte [besteht]“ (HÄDER 2014). Die Facettentheorie bietet eine strukturierte Hilfestellung für die Durchführung dieses Zerlegungsschrittes und wird nach HÄDER (2014) in vier Schritten durchgeführt:

- Identifikation und Operationalisierung der Facetten in der Fragestellung
- Darstellung der Facetten in einem kategorialen Abbildsatz
- Bilden von Aussagen (Struktupel) als Kombination von Elementen der Facetten
- Entwickeln von Fragen aus den Struktupeln

Aus den Erkenntnissen der Abschnitte 3.1, 3.8, 4.4, 4.5, 4.6 und 4.11 werden die nachstehenden Facetten abgeleitet:

#### **1. Facette:**

Im Rahmen des Vorhabens werden unterschiedliche Probleme wahrgenommen (z.B. ungenügende Verkehrssicherheit im 0-System, Rückgang der Artenvielfalt im 1-System etc.).

#### **2. Facette:**

Diesen Problemen können Ursachen zugeordnet werden (z.B. Verkehrsaufkommen im Ortsbereich, Zerschneidung von Biotopverbänden etc.).

### **3. Facette:**

Die Akteur:innen richten zur Lösung dieser Probleme ihr Handeln an unterschiedlichen Zielen aus (z.B. Stauvermeidung, wirtschaftliches Überleben des Betriebs, Sicherung des Artenschutzes etc.).

### **4. Facette:**

Diese Ziele können dem übergeordneten Ziel *Stabilität des Systems SuL* untergeordnet werden.

Die ersten beiden Facetten stützen sich auch auf die Aussagen von MARTÍN GARCÍA (2021) und FORD (2010), wonach für die Modellbildung und Simulation die Akteur:innen nach deren Ansichten zu bestehenden Problemen und deren beeinflussenden Parametern befragt werden sollen.

HÄDER (2014) verweist darauf, dass die im Rahmen der Zerlegung der Problemstellung gefundenen Facetten nicht als absolut und alleinig betrachtet werden sollten, sondern dass diese eben nur eine mögliche Zerlegung darstellen.

Die Facetten werden in einem **kategorialen Abbildsatz** dargestellt (Abbildung 82):

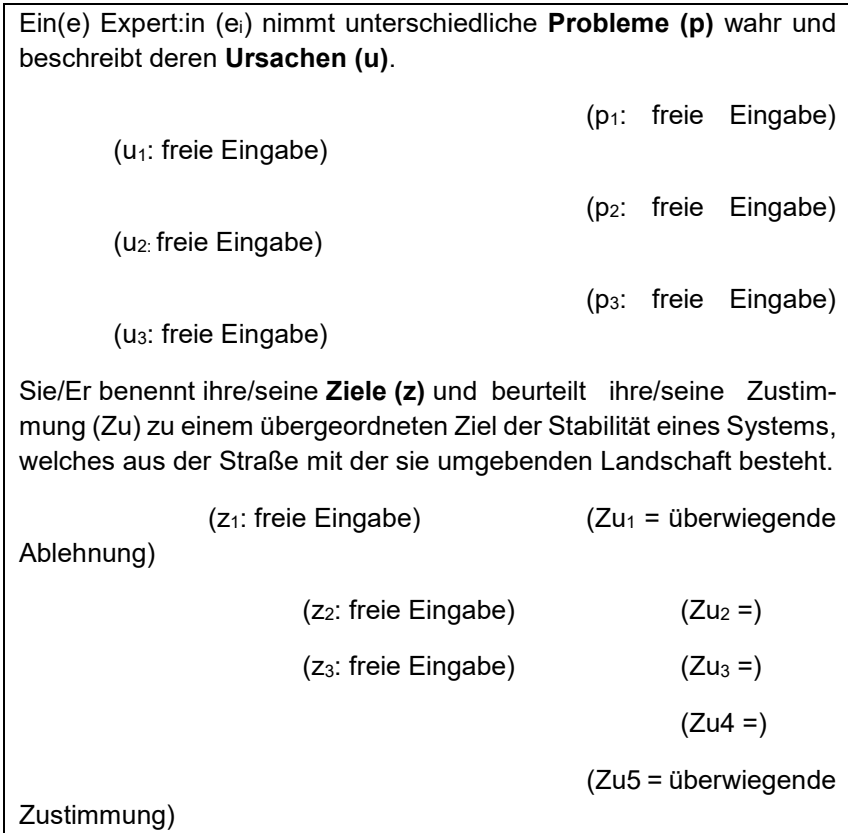


Abbildung 82: Kategorialer Abbildsatz der Fragestellung für die Delphi-Befragung (eigene Darstellung).

Der kategoriale Abbildsatz bildet die Grundlage der Befragung, aus welcher in einem nächsten Schritt spezifische Fragen abgeleitet werden. Dies kann durch die Entwicklung von Struktupeln als „Kombination der einzelnen Elemente der Facetten“ (HÄDER 2014) erfolgen. In

der *Delphi-Studie zu Zielen, Problemen und Einflussfaktoren in Infrastrukturprojekten* werden jedoch nicht ausschließlich Kombinationen aus den Elementen des kategorialen Abbildsatzes gebildet, sondern es werden bewusst auch offene Fragen verwendet, ohne dass diese zwingend Struktupel, also Kombinationen von Elementen, darstellen. Dies wird damit begründet, dass zwar einerseits ein Ziel der Studie die Konsensbildung ist, dass andererseits die mögliche Bandbreite der Diskussion nicht durch eine Vorauswahl der Elemente im Abbildsatz eingeschränkt werden soll. Gerade die Vielfalt wahrgenommener Probleme, Ursachen und Zielen sind ein wesentlicher Aspekt, welcher die untersuchten Entitäten des Systems *SuL* betreffen. Die für die Modellbildung wichtigen Zusammenhänge zwischen Problemen und deren beeinflussenden Faktoren hingegen erfordern die Bildung eines Struktupel.

Die Zuordnung der Elemente des Abbildsatzes zu den Fragebogenfragen erfolgt in Tabelle 40.

Tabelle 40: Zuordnung der Elemente des kategorialen Abbildsatzes zu den Fragebogenfragen.

Element	Fragennummer	Frage
<b>z<sub>1</sub>-z<sub>3</sub></b>	1	Nennen Sie bitte die drei Hauptziele im Zusammenhang bei der Planung von Ortsumfahrungen, beispielsweise der Ortsumfahrung Elstorf.
<b>z<sub>1</sub>-z<sub>3</sub>, z<sub>u1</sub>-z<sub>u5</sub></b>	2	Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „Die von Ihnen genannten Ziele bei der Planung vor Ortsumfahrungen, beispielsweise der Ortsumfahrung Elstorf, können dem übergeordneten Ziel <i>Stabilität des Systems Straße und Landschaft untergeordnet</i> werden.“
<b>p<sub>1</sub>-p<sub>3</sub></b>	3 erste Teilfrage	Nennen Sie bitte die drei größten Probleme bei der Realisierung von Ortsumfahrungen, beispielsweise bei der Ortsumfahrung von Elstorf.
<b>p<sub>1</sub>-p<sub>3</sub>, u<sub>1</sub>-u<sub>3</sub></b>	3 zweite Teilfrage	Was vermuten Sie, welche Faktoren (z.B. Ursachen, Stellhebel, etc.) beeinflussen diese Probleme?

Der Fragebogen wird ergänzt durch ein Anschreiben und ein Informationsblatt, welches die Hintergründe der Frage 2 erläutert (vgl. Anhang 3 und 4).

Gerade bei den Fragen 2 und 3 weist die jeweilige Sicherheit in den Aussagen auf eine Relevanz für die Modellbildung und Simulation hin, weswegen diese abgefragt wurde.

Schließlich wurden die Teilnehmenden gebeten, mögliche ergänzenden Informationen auf einer dafür vorgesehenen Seite als Freitext zu ergänzen.

Die Erhebung wurde im Rahmen des Forschungsprojektes **MOVE – Umgang mit der Komplexität naturschutzrelevanter Infrastrukturprojekte** konzipiert und durchgeführt. Sie fand in zwei Wellen mit zweiwöchigem Abstand im November und Dezember 2021 statt. Aus den Rückläufen der ersten Welle wurde ein zusätzlicher Aspekt aufgegriffen. Dieser bildete in der zweiten Befragungswelle die Grundlage für eine weitere Frage. Die Reihenfolge wurde dergestalt verändert, dass die neue Frage als dritte Frage im Fragebogen der zweiten Welle erschien (Tabelle 41).

Tabelle 41: Ergänzung eines Elementes des kategorialen Abbildsatzes zu den Fragebogenfragen.

Element	Fragenummer in der zweiten Befragung	Frage
<b>Zu<sub>4</sub>-Zu<sub>6</sub></b>	3	<p>In Ihren Anmerkungen wurde u.a. kritisiert, dass in der Planung von Ortsumfahrungen nicht „ganzheitlich“ vorgegangen werde. In einem Artikel in einer Fachzeitschrift wird vorgeschlagen, Infrastrukturprojekte künftig ganzheitlich zu betrachten, weil eine Vielfalt an Wechselwirkungen besteht, die sich einander bedingen.</p> <p>Inwieweit stimmen Sie der skizzierten Umsetzungsidee zu:</p> <p>Umsetzungsidee: In einem Modell könnten die wechselseitigen Auswirkungen auf die Schutzgüter und auf z.B. den Menschen als soziales Wesen sowie auf die Straße analysiert werden. Dieses Modell könnte zur Abwägung und Beteiligung genutzt werden.</p>

#### 6.5.4 Ablauf der Studie

Der Ablauf der Studie ist in Abbildung 83 dargestellt. Nach der Ableitung der Forschungsfragen und der Operationalisierung der Frage-

stellung nach der Facettentheorie wurden die im UVP-Portal verfügbaren Unterlagen analysiert, um auf dieser Grundlage relevante Expert:innen zu identifizieren.

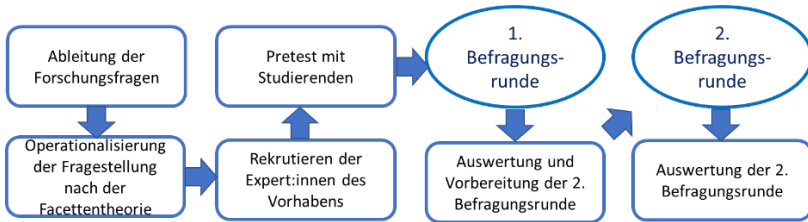


Abbildung 83: Ablauf der Delphi Studie zu Zielen, Problemen und Ursachen in Projekten der Verkehrsinfrastruktur (eigene Darstellung).

An der Studie nahmen in beiden Wellen jeweils 14 Expert:innen teil. Die Expert:innengruppe setzt sich aus am Projekt beteiligten Planer:innen, Gutachter:innen, Beschäftigten der Landwirtschaftskammer und Behörden, Betroffenen und Politiker:innen zusammen. Die Expert:innen wurden so ausgewählt, dass diese den in Abschnitt 5.7.5 entwickelten Entitäten im Systemdimensionskreis zugeordnet werden konnten (Abbildung 84).

Bei einigen Entitäten konnte mittels des beschriebenen Verfahrens nicht mehr als ein:e Expert:in identifiziert werden. In diesen Fällen wurden die gefundenen Expert:innen danach befragt, wer den Personenkreis erweitern könne. Mit Ausnahme der Entitäten Klima und kulturelles Erbe konnten so zu jeder Entität im Systemdimensionskreis mindestens zwei Expert:innen für die Studie engagiert werden.

Schwierig war in diesem Zusammenhang, dass einige der am Projekt beteiligten Planer:innen vertraglich eine Vertraulichkeitsvereinbarung unterzeichnet hatten. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, die von dieser Vertraulichkeitsvereinbarung berührten Aspekte im Rahmen der Erhebung zu thematisieren. Infolgedessen wurden die Fragen allgemeiner formuliert und bezogen sich auf Ortsumfahrungspro-



jekte generell. Durch diese Vorgehensweise wird einerseits sichergestellt, dass die Ergebnisse auf vergleichbare Projekte übertragbar sind. Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der Zusammensetzung der Expert:innengruppe ein projektspezifischer Teilnehmer:innenkreis an der Studie mitwirkt.



Abbildung 84: Zuordnung der Expert:innen zum Systemdimensionskreis (eigene Darstellung).

Der **Pretest** wurde mit neun Studierenden durchgeführt. Das Vorgehen erfolgte bei drei Teilnehmenden als Feedback ohne Beobachtung. Bei den weiteren Teilnehmer:innen wurde der Test mittels des kognitiven Verfahrens *Post-Interview-Probing* und der *Think-Aloud-Technik* durchgeführt (vgl. HÄDER 2014). Die Gruppe setzte sich aus Studierenden der Studiengänge Umweltmanagement und Stadtplanung in Ballungsräumen (Master), Landschaftsarchitektur (Master und Bachelor) sowie Soziale Arbeit (Bachelor) zusammen.

Die Studie wurde nach der zweiten Welle beendet, da sich die Antworten in der zweiten Welle inhaltlich nicht maßgeblich von denen der ersten Welle unterschied und damit das **Abbruchkriterium** erreicht

war. Gleichzeitig nahm die Sicherheit in den Aussagen tendenziell zu. Ein:e Expert:in nahm trotz vorheriger Zusage nicht an der Umfrage teil, so dass das Schutzgut Luft nur noch durch ein:e Expert:in vertreten wurde. Die verbliebenen Teilnehmer:innen nahmen jeweils an beiden Befragungsrunden teil. Daher war keine Untersuchung für die Gründe der **Panelmortalität notwendig**. Vereinzelt wurden in der zweiten Runde Fragen bei der Beantwortung ausgelassen.

### 6.5.5 Inhaltliche Ergebnisse der Studie

#### Frage nach den Hauptzielen

Frage:

Nennen Sie bitte die drei Hauptziele im Zusammenhang bei der Planung von Ortsumfahrungen, beispielsweise der Ortsumfahrung Elstorf.

In Abschnitt 4.5 wurde u.a. festgestellt, dass im System *SuL* ein komplexes, mehrdimensionales Zielsystem existiert, welches zu einem großen Teil anthropozentrisch motiviert ist und dessen Ansprüche sich an dem Raum oder der Funktionsfähigkeit für die Gesellschaft orientieren. Des Weiteren wurde beschrieben, dass die Probleme, welche diesen Zielen gegenüberstehen, als *wicked Problems* schwer definierbar sind.

Das Ziel ist es, in einer offenen Fragestellung das gesamte Spektrum möglicher Antworten zu erhalten. Es ist anzumerken, dass die Expert:innen in ihrer Gesamtheit alle in 5.7.5 identifizierten Entitäten des Systems *SuL* vertreten. Die Antworten wurden codiert und die Kategorien den Ergebnissen der theoriebasierten Exploration zum Wissen über die Ziele in Abschnitt 4.5 gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die Kategorien aus der Frage nach den Zielen den Begriffen des Abschnitts 4.5 zugeordnet werden können (Abbildung 85).

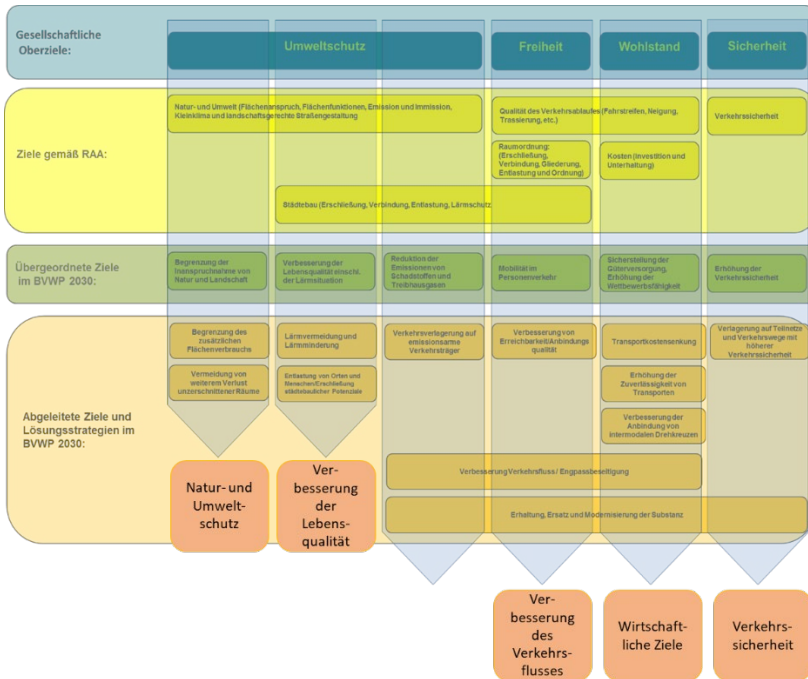


Abbildung 85: Zuordnung der Kategorien zur Systematik von Zielen bei der Verkehrsinfrastruktur aus Sicht der Vorhabenträger (eigene Darstellung nach SCHWEDES (2018)).

Die Ergebnisse belegen, dass die Entlastung der Anwohner:innen und damit verbunden die Erhöhung der Lebensqualität einen nennenswerten Stellenwert in beiden Befragungsrunden einnehmen, wobei die Nennungen in der zweiten Runde im Vergleich zur ersten Runde deutlich abnehmen. Daneben stehen mit der Verbesserung des Verkehrsflusses und der Verkehrssicherheit, mit 11 bzw. 9 Nennungen in der zweiten Welle, die verkehrlichen Ziele im Vordergrund. Danach folgen der Schutz von Natur und Umwelt sowie wirtschaftliche Ziele, die beide in der zweiten Runde mehr Nennungen verzeichnen als in der ersten Befragungsrunde (Abbildung 86).

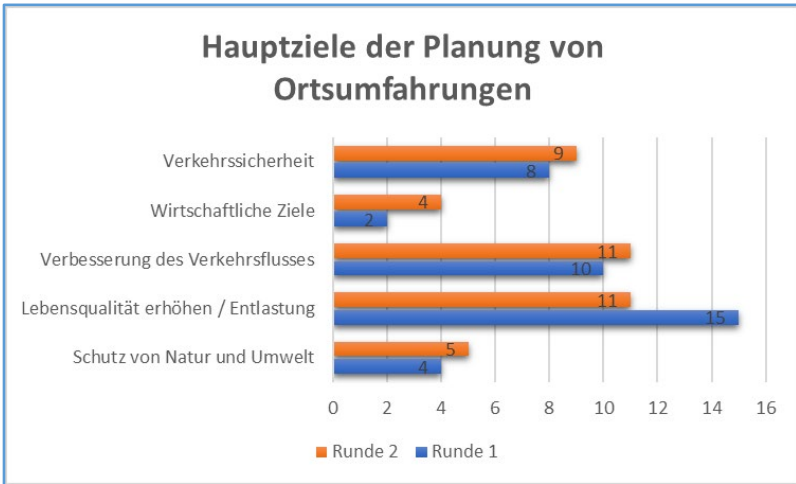


Abbildung 86: Hauptziele im Zusammenhang bei der Planung von Ortsumfahrungen; Ergebnisse beider Befragungsrunden (eigene Darstellung).

Betrachtet man die Ergebnisse aus der Perspektive dynamischer Komplexität, dann lassen sich die Kategorien in zwei Gruppen unterteilen:

- Ziele mit kurzfristiger Wirkung (Verkehrssicherheit, Verbesserung des Verkehrsflusses und Erhöhung der Lebensqualität),
- Ziele mit mittel- bis langfristiger Wirkung (wirtschaftliche Ziele, Schutz von Natur und Umwelt).

Gerade diejenigen Zielkategorien, deren Wirkungen sich vergleichsweise früh einstellen, werden auch häufiger genannt. Ferner kann angenommen werden, dass sowohl Nutzer:innen als auch Betroffene des Vorhabens den Erfüllungsgrad der kurzfristig wirkenden Gruppe eher beurteilen können, als dies bei der mittel- bis langfristigen Gruppe der Fall sein wird.

## Frage nach der Stabilität als übergeordnetes Ziel

Frage:

Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussage zu:

„Die von Ihnen genannten Ziele bei der Planung von Ortsumfahrungen, beispielsweise der Ortsumfahrung Elstorf, können dem übergeordneten Ziel Stabilität des Systems Straße und Landschaft untergeordnet werden.“

Wie in Abschnitt 4.11 beschrieben, können Systeme stabile, instabile oder indifferente Zustände einnehmen. Es ist schwierig, die Regelungsmechanismen wahrzunehmen, welche die Stabilität eines Systems ermöglichen. Dennoch werden Mensch und Gesellschaft von diesen Mechanismen beeinflusst, beispielsweise durch die Temperaturregulierung unseres Körpers, die Regelung unserer Heizung oder den regulativen Kräften des Marktes (vgl. FORD 2010, MEADOWS & WRIGHT 2011).

In Abschnitt 4.10 wurde vorgeschlagen, mit der **Stabilität des Systems SuL**, gleichermaßen dem sozialen System der Planenden ein Ordnungsprinzip und der Gesellschaft eine Lebensregel (Maxime) zu bieten. Als solche ist sie davon gekennzeichnet, dass sie als ein allgemeines Gesetz anerkannt werden sollte. Die Expert:innen wurden deshalb danach befragt, ob sie einem übergeordneten Ziel der Systemstabilität zustimmen können (Abbildung 87).

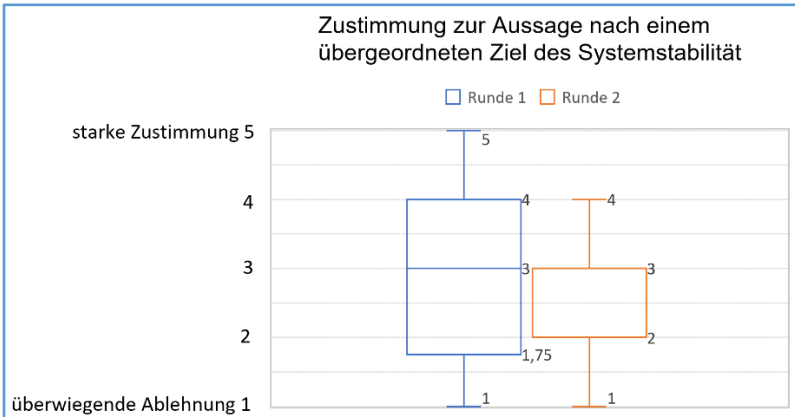


Abbildung 87: Zustimmung in Runde 1 und 2 zur Aussage nach einem übergeordneten Ziel der Systemstabilität (eigene Darstellung).

In der ersten Runde stimmten vier Expert:innen (n=14) der Aussage zu, darunter war eine volle Zustimmung. Gleichzeitig lehnten fünf Expert:innen diese Aussage ab, mit drei vollständigen Ablehnungen. In der zweiten Runde nahmen insbesondere die Zustimmungswerte ab. Nur noch ein:e Expert:in stimmte zu (n=13).

Die Expert:innen wurden auch danach befragt, wie sicher sie sich in ihren Aussagen sind. Vier Teilnehmende waren sich eher unsicher. Sieben gaben an, sich sicher zu sein, darunter ein:e völlig sicher (Abbildung 88). In der zweiten Befragungswelle waren sich nur noch fünf Expert:innen sicher. Es gab keine *völlig sichere* Nennung mehr.

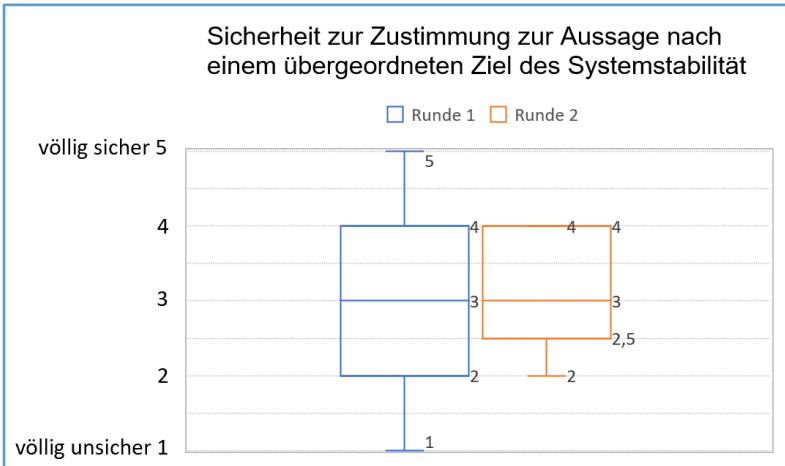


Abbildung 88: Sicherheit in Runde 1 und 2 zur Aussage nach einem übergeordneten Ziel der Systemstabilität (eigene Darstellung).

Zusätzlich wurde analysiert, welche Aussagen aus einer kombinatorischen Sicht aus Zustimmung und Sicherheit in der ersten und zweiten Welle getroffen werden können (Abbildung 89).

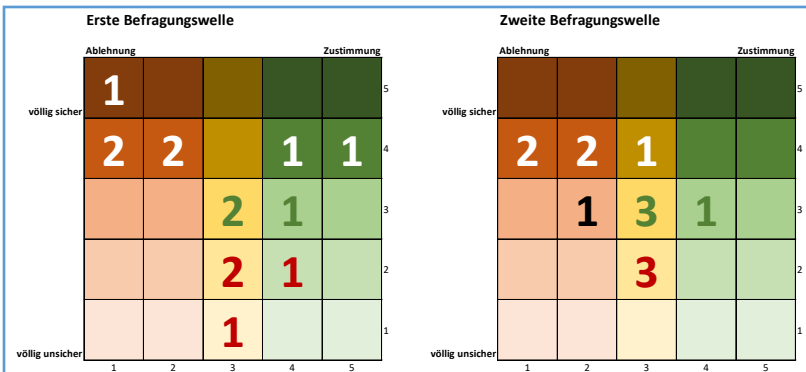


Abbildung 89: Kombinatorische Sicht aus Zustimmung und Sicherheit in der Aussage in der ersten und zweiten Runde (eigene Darstellung).

Bei dieser Darstellung fällt auf, dass in beiden Runden die Ablehnung eher mit einem sicheren Urteil gefällt wurde. Allerdings nimmt die Sicherheit in den Aussagen in der zweiten Runde mit fünf Nennungen gegenüber der ersten Runde mit sieben Nennungen ab (n=13).

**Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Mehrheit der Teilnehmenden der Studie der Aussage nicht zustimmen, dass die Stabilität des Systems *SuL* ein übergeordnetes Ziel sein könne.**

Ein gewichtiger Grund für die ablehnenden Rückmeldungen könnte sein, dass die Vorstellung eines stabilen Systems, welches aus *SuL* besteht, bei der praktischen Umsetzung einer Planungsaufgabe ein abstraktes Gepräge hat. Das Konzept von *SuL* als System erfordert jedoch eine eingehende theoretische Beschäftigung mit dem vorgeschlagenen Perspektivwechsel für die Planungspraxis (vgl. Abschnitt 3.8). Zum Verständnis des Konzepts ist es daher sicherlich hilfreich, erstens die Gedankengänge des Perspektivwechsels nachzuvollziehen und zweitens die Maxime der Stabilität zum Gegenstand eines fachlichen Diskurses zu machen.

Abschließend ist anzumerken, dass der Begriff der Stabilität nicht mit einem **statischen Zustand** gleichgesetzt werden kann. Ein System kann sich sehr dynamisch verhalten und dennoch stabil sein (vgl. MEADOWS & WRIGHT 2011). Dennoch könnte es für zukünftige Diskussionen förderlich sein, die Begrifflichkeit zu hinterfragen und eindeutiger zu beschreiben.

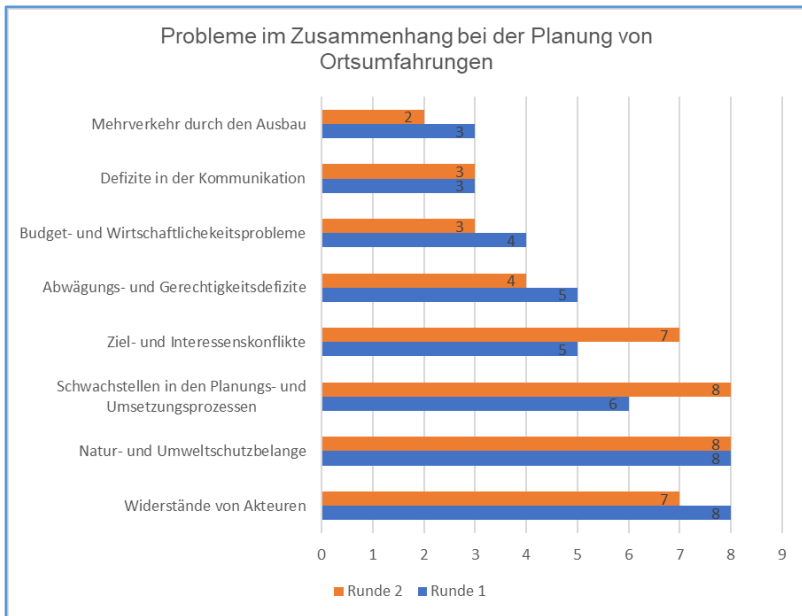


## Frage nach den wahrgenommenen Problemen der Expert:innen

Frage:

Nennen Sie bitte die drei größten Probleme bei der Realisierung von Ortsumfahrungen, beispielsweise bei der Ortsumfahrung von Elstorf.

Die Modellbildung und Simulation nach der Systems Dynamics Methode kann sinnvollerweise als Analyse der Probleme und deren beeinflussenden Faktoren beginnen (vgl. FORD 2010, MARTÍN GARCÍA 2021). Die Teilnehmenden der Studie benannten als Probleme neben Belangen des Natur- und Umweltschutzes auch Ziel- und Interessenskonflikte, Schwachstellen in den Planungs- und Umsetzungsprozessen sowie die Widerstände von Akteur:innen besonders häufig (Abbildung 90).



*Abbildung 90: Probleme bei der Realisierung von Ortsumfahrungen; Ergebnisse beider Befragungsrunden (eigene Darstellung).*

Ferner werden Abwägungs- und Gerechtigkeitsdefizite, Defizite in der Kommunikation, Budget- und Wirtschaftlichkeitsprobleme und schließlich der Mehrverkehr durch den Ausbau genannt, wenn auch nicht mehr so häufig. Die codierten Antworten der offenen Abfrage lassen sich wiederum in drei Gruppen unterteilen:

- **verkehrliche Probleme** mit zwei Nennungen in der zweiten Runde (n=42),
- **Natur- und Umweltschutzbelange** mit jeweils acht Nennungen in den beiden Runden (n=42),
- **Probleme im Kontext sozialer Systeme** mit 31 Nennungen in der ersten und 32 Nennungen in der zweiten Runde.

Ein Großteil der von den Expert:innen genannten Probleme entstehen demnach in Verbindung mit sozialen Systemen. Dies stützt die Annahme aus Kapitel 5.7.5, wonach mit der Entwicklung des Systemdimensionskreises und der Aufnahme sozioökonomischer Entitäten das System repräsentiert werden kann. Wie bereits mehrfach erwähnt, operieren soziale System durch Kommunikation auf der Grundlage eines Codes (Sinn). Die vielfache Nennung sozialer Probleme ist auch nicht verwunderlich, verweist jedoch darauf, dass soziale Probleme auch sozialer Lösungen bedürfen und dass der Code des sozialen Systems hinterfragt werden sollte.

Die Frage nach der Sicherheit der getroffenen Aussage zeigt, dass sich die Expert:innen in ihrem Urteil überwiegend sicher sind. Es gab zwischen der ersten und zweiten Welle keine Änderung in dieser Einschätzung (Abbildung 91).

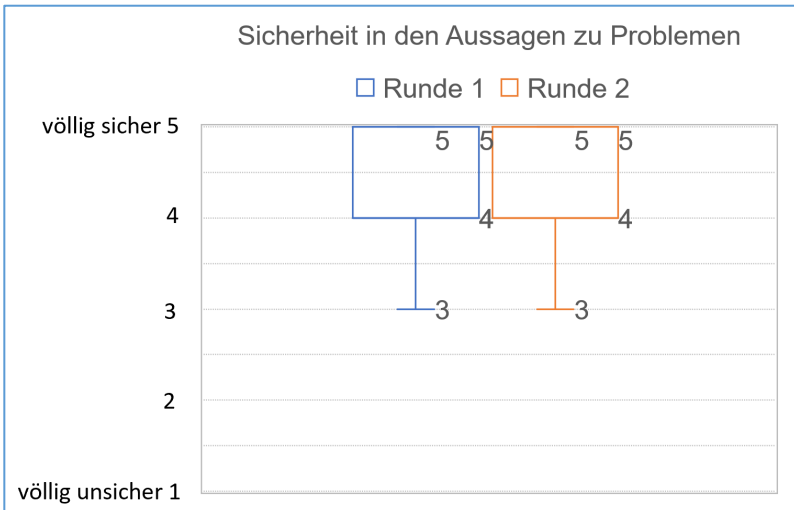


Abbildung 91: Sicherheit in den Aussagen zu Probleme bei der Realisierung von Ortsumfahrungen; Ergebnisse beider Befragungsrunden (eigene Darstellung).

Frage nach den vermuteten Ursachen und Stellhebeln für die Probleme

Frage:

Was vermuten Sie, welche Faktoren (z.B. Ursachen, Stellhebel, etc.) beeinflussen diese Probleme?

Neben den wahrgenommenen Problemen im dynamisch komplexen System *SuL* ist es hilfreich und wichtig, die Expert:innen nach deren Meinung über diejenigen Faktoren zu befragen, welche die Probleme beeinflussen oder ursächlich für diese sind.

Im Gegensatz zu den Problemen lassen sich die problembeeinflussenden Faktoren in zwei Gruppen unterteilen:

- **Faktoren im Kontext sozialer Systeme** mit 40 Nennungen in der zweiten Welle (n=42).
- **verkehrliche Faktoren** mit zwei Nennungen in der zweiten Welle,

Daraus lässt sich folgern, dass Natur- und Umweltschutzbelange als Probleme, jedoch nicht als Lösungsansätze angesehen werden. Ebenso bestätigt sich, dass viele der zuvor erkannten Probleme von Faktoren im Kontext sozialer Systeme beeinflusst werden können. Besonders häufig wurden Antworten gegeben, welche sich bei der Codierung unter der Begrifflichkeit ***Schaffung eines gemeinsamen***

**Wertemaßstabes** zusammenfassen lassen. Hierzu gab es 13 Nennungen in der ersten (n=39) und 12 Nennungen in der zweiten Welle (n=42). Die Ergebnisse sind in Abbildung 92 dargestellt.

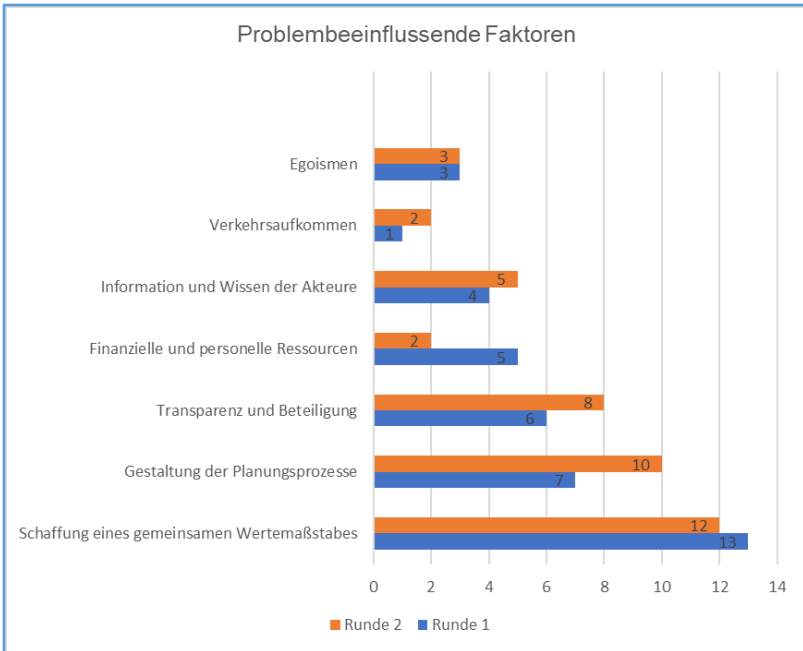


Abbildung 92: Problembeeinflussende Faktoren bei der Realisierung von Ortsumfahrungen; Ergebnisse beider Befragungen (eigene Darstellung).

Auch die Gestaltung der Planungsprozesse sowie Transparenz und Beteiligung wurden in beiden Wellen häufig genannt. In Abschnitt 5.5.1 wurde beschrieben, dass sich das *P-System* aus den Entitäten Prozesse und Akteur:innen zusammensetzt und dass zwischen Planungsgegenstand, Planungsprozessen und Planenden Wirkzusammenhänge bestehen. Daher scheint das Ergebnis der Befragung nach den Problemen und den beeinflussenden Faktoren auch folgerichtig und schlüssig darauf zu verweisen, dass der Sinn als Code sozialer

Systeme eine besondere Stellung bei der Gestaltung von *SuL* einnimmt.

Die Expert:innen sind sich überwiegend sicher bei ihren Urteilen zu den problembeeinflussenden Faktoren. Auch hier ändert sich diese Einschätzung kaum zwischen den beiden Befragungsrunden (Abbildung 93).

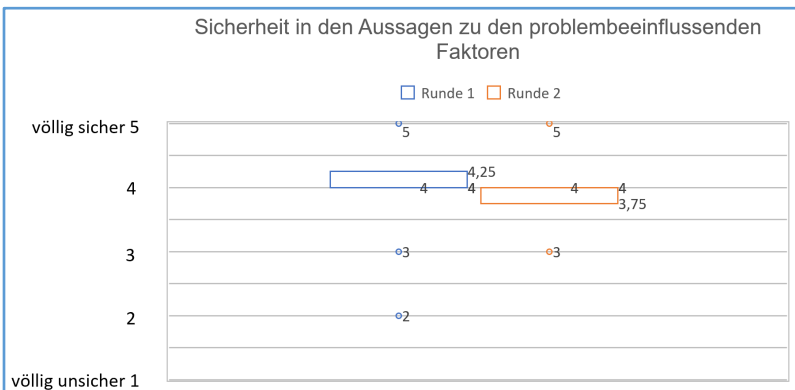


Abbildung 93: Sicherheit in den Aussagen zu problembeeinflussenden Faktoren (eigene Darstellung).

In der Abbildung 94 werden die Probleme in einem Bulls-Eye-Diagramm im inneren roten Kreis dargestellt. Die beeinflussenden Faktoren befinden sich auf dem äußeren blauen Kreis.

MARTÍN GARCÍA (2021) beschreibt ein ähnliches Vorgehen, um daraus Erkenntnisse für die Entwicklung eines Modells ableiten zu können.

Die fett markierten Begriffe wurden häufiger genannt. Die Begriffe sind thematisch gruppiert. Allerdings wurde in der Umfrage nicht explizit

nach den Zusammenhängen zwischen den Problemen und den Faktoren gefragt.



Abbildung 94: Bulls-Eye-Diagramm als Kombination aus Problemen (innen) und beeinflussenden Faktoren (außen) (eigene Darstellung).

## Frage nach der holistischen Betrachtung mittels eines Modells

Diese Frage wurde in der zweiten Welle bei sonst gleichbleibenden Fragen ergänzt, nachdem in den Anmerkungen der Fragebögen von Teilnehmenden vermerkt wurde, dass eine ganzheitliche Vorgehensweise nicht stattfände. Dies steht in einem besonderen Zusammenhang mit den Ausführungen im Rahmen dieser Arbeit. Der Fragebogen der zweiten Welle wurde daher um diesen Aspekt erweitert.

### Frage:

In Ihren Anmerkungen wurde u.a. kritisiert, dass in der Planung von Ortsumfahrungen nicht „ganzheitlich“ vorgegangen werde. In einem Artikel in einer Fachzeitschrift wird vorgeschlagen, Infrastrukturprojekte künftig ganzheitlich zu betrachten, weil eine Vielfalt an Wechselwirkungen besteht, die sich einander bedingen. Inwieweit stimmen Sie der skizzierten Umsetzungsidee zu:

In einem Modell könnten die wechselseitigen Auswirkungen auf die Schutzgüter und auf z.B. den Menschen als soziales Wesen sowie auf die Straße analysiert werden. Dieses Modell könnte zur Abwägung und Beteiligung genutzt werden.

Mit der Kritik, dass in den Planungen von Ortsumfahrungen nicht ganzheitlich vorgegangen werde, wird auch ein zentraler Vorschlag des Perspektivwechsels nach Abschnitt 3.8 berührt. Dieser sieht vor, dass der Umgang mit der Komplexität von Verkehrsinfrastrukturprojekten einen transzendierenden Schritt hin zu einem holistischen Vorgehen erfordert (vgl. Abschnitt 3.8.2).

In einer zusätzlichen Frage wurde in der zweiten Befragungsrunde nach der Zustimmung zu der Umsetzungsidee gefragt, derzufolge die wechselseitigen Auswirkungen in einem Modell simuliert werden sollen.

Vier Expert:innen stimmten dem Vorschlag zu, bei einer Ablehnung (n=13; Abbildung 95).



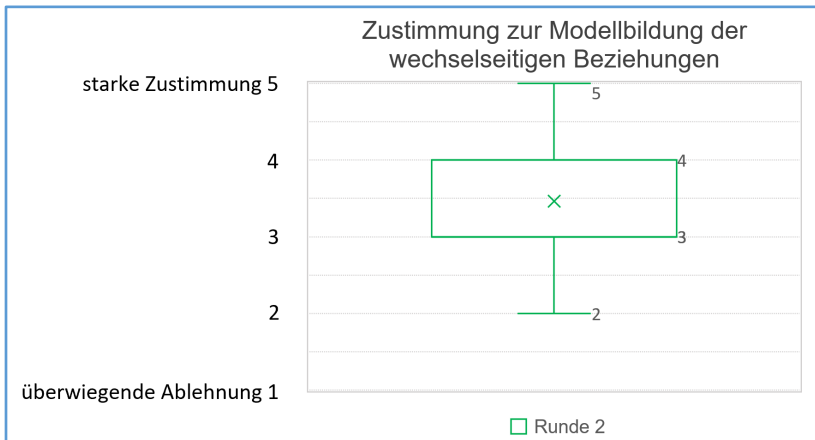


Abbildung 95: Zustimmung zur Umsetzungsidee Modellbildung der wechselseitigen Auswirkungen (eigene Darstellung).

Die Expert:innen waren sich mehrheitlich sicher bis indifferent in ihrer Aussage (Abbildung 96). Dieses Ergebnis stützt demnach den zuvor genannten Vorschlag des Transzendierens.

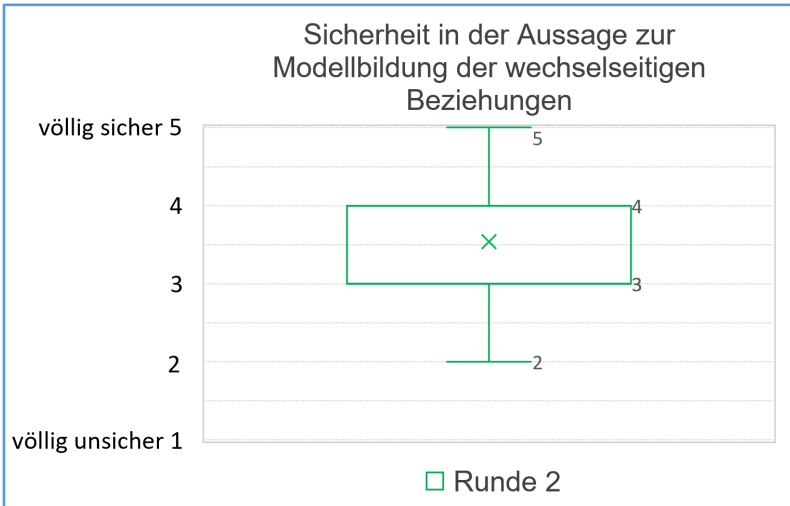


Abbildung 96: Sicherheit in der Aussage zur Modellbildung der wechselseitigen Beziehungen (eigene Darstellung).

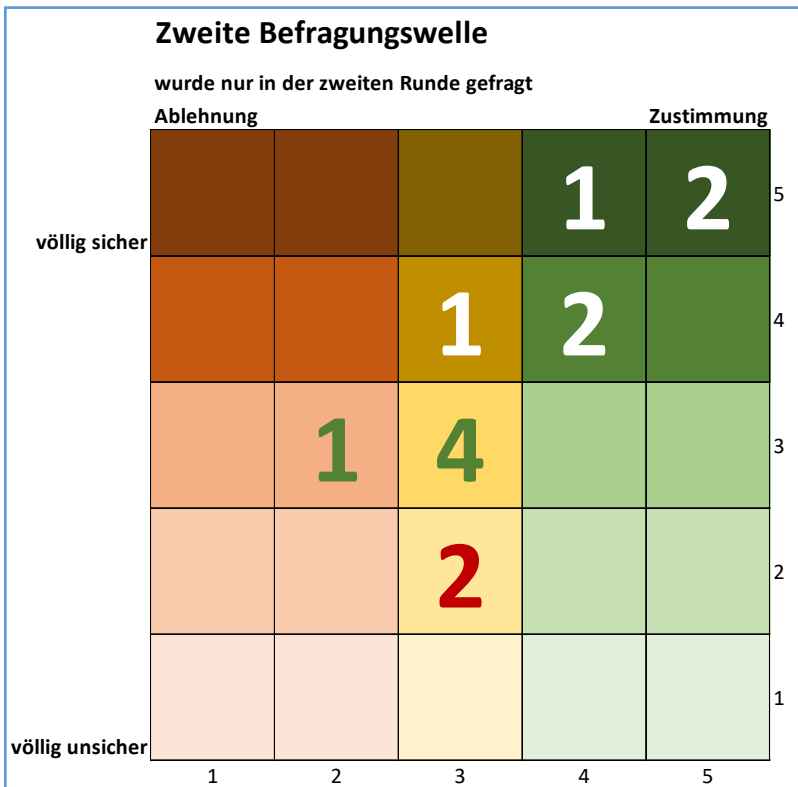


Abbildung 97: Kombinatorische Sicht aus Zustimmung und Sicherheit in der Aussage in der ersten und zweiten Runde (eigene Darstellung).

Aus der kombinatorischen Betrachtung von Zustimmung und Sicherheit lässt sich zudem ableiten, dass sich die Zustimmenden in ihrem Urteil eher sicher sind (Abbildung 97). Dennoch darf nicht vernachlässigt werden, dass sieben Expert:innen weder eine ablehnende noch eine zustimmende Haltung eingenommen haben. Daraus kann man schlussfolgern, dass der Umsetzungsvorschlag eines breiten fachlichen Diskurses bedarf.

### 6.5.6 Zwischenfazit und Ausblick

Der Ansatz vom Handeln als Mittel zur Zielerreichung bildete den theoretischen Hintergrund. Darin zeigt sich, dass die Umwelt komplex und das Wissen über die Umstände nur begrenzt vorhanden ist. Die Probleme in den Projekten sind gleichermaßen Teil der Umstände. Hier könnte das Wissen über die Ziele, die Umstände und die Mittel des Handelns bei den Akteur:innen unterschiedlich sein, da dieses von deren jeweiliger Rolle im *P-System* abhängt. Im Rahmen der Delphi-Studie beurteilen die Akteur:innen daher auch die Sicherheit ihrer Urteile.

Die wesentlichen Erkenntnisse sind wie folgt zusammenzufassen:

- Auf die Frage nach den Zielen wurden besonders häufig jene Ziele genannt, deren Erfüllung eine kurzfristige Wirkung entfalten. Dies kann mit der Komplexität des Zielsystems sowie von SuL erklärt werden, da in komplexen Systemen „[o]ffensichtliche Intervention [...] zu nicht offensichtlichen Konsequenzen [führen]“ (LANGE 2015).
- Die Mehrheit der Expert:innen stimmte dem Vorschlag eines übergeordneten Zieles der Stabilität von SuL nicht zu. Denkbar ist es, dass die Kombination der Begriffe *SuL* und *Stabilität* aus der Sicht einiger Expert:innen zu abstrakt ist, um ohne eingehende Beschäftigung in der praktischen Lebenswirklichkeit angenommen werden zu können.
- Besonders fällt auf, dass sich ein großer Teil der genannten Probleme und deren beeinflussenden Faktoren in einem sozialen Systemkontext bewegen. Soziale Systeme operieren durch Kommunikation und **Sinn bildet** das **Ordnungsprinzip** im **P-System** ab. Die Studie stützt daher die Erkenntnisse des Perspektivwechsels in Abschnitt 3.8.
- Dem Umsetzungsvorschlag, wonach die Wechselwirkungen im Projekt modelliert werden sollen, stehen die Expert:innen mehrheitlich noch indifferent gegenüber, wobei tendenziell mehr zugestimmt als abgelehnt wurde.

### **Ausblick:**

Die Erkenntnisse der Studie bilden eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung des qualitativen sozio-ökonomischen Teilmodells von *SuL*. Es wird vermutet, dass gerade im Ordnungsprinzip des *P-Systems* ein Schlüssel für die Lösung der Probleme in den Vorhaben liegt. Auch wenn der Vorschlag eines übergeordneten Ziels der Stabilität nicht angenommen wurde, gibt der Wunsch nach u.a. den Richtlinien des Handelns, gemeinsam mit dem Wunsch einer ganzheitlichen Betrachtung, einen wichtigen Impuls für einen fachlichen Diskurs im Sinne der Diskursethik von HABERMAS (2015).

## 6.6 Qualitatives sozioökonomisches Teilmodell der OU Elstorf

Das qualitative sozioökonomische Teilmodell der Ortsumfahrung Elstorf wird sich aus drei Teilen zusammensetzen:

- Teilmodell, dessen Daten aus der UVS entnommen werden,
- Teilmodell, dessen Daten aus der Delphi-Studie entnommen werden,
- logisch-deduktive Ergänzung.

### 6.6.1 Qualitatives sozioökonomisches Teilmodell aus der UVS

Aus den Ergebnissen der Inhaltsanalyse der UVS Elstorf kann, zumindest für jene Entitäten, welche in der UVS erfasst werden, ein qualitatives sozioökonomisches Modell der OU Elstorf abgeleitet werden. Die Vorgehensweise erfolgt analog der Vorgehensweise in Abschnitt 6.4. Das sozioökonomische Teilmodell aus der UVS ist Abbildung 98 dargestellt.

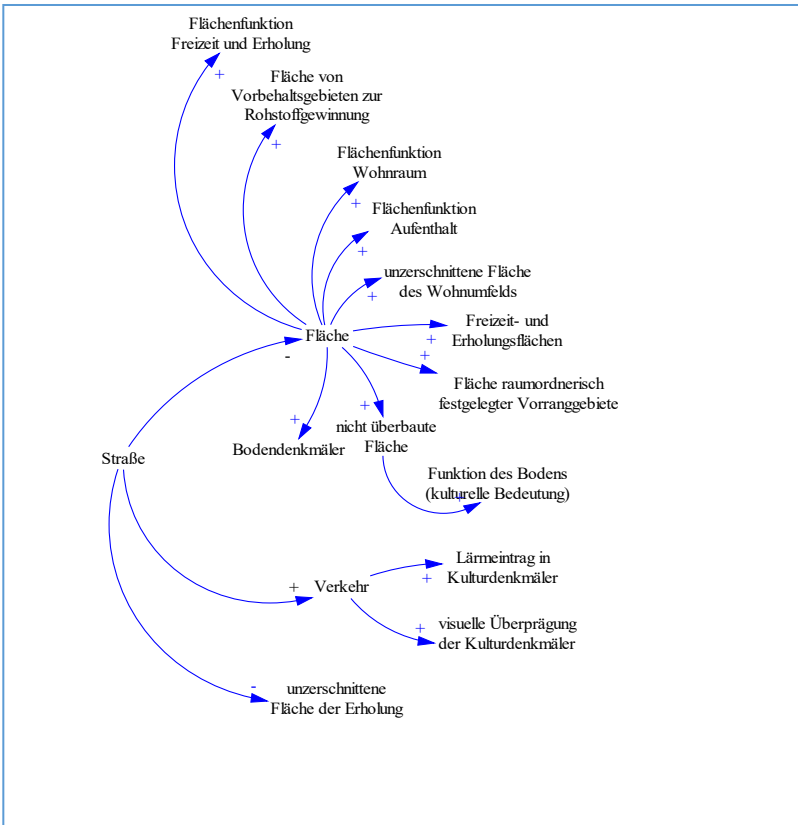


Abbildung 98: Sozioökonomisches Teilmodell aus der UVS (eigene Darstellung).

Auch in diesem Modell lässt sich erkennen, dass alle Wirkungen die Straße als erste Ursache besitzen. Straße, Verkehr und Fläche sind aktive Variablen. Ebenso existieren keine Regelkreise, weswegen eine Dynamik im Systemverhalten nicht darstellbar ist. Soziale Systeme sind häufig jedoch gerade durch Rückkopplungen und ihre Komplexität gekennzeichnet (vgl. FRAHM 2013, KÜPPERS 2019).

Es ist anzumerken, dass das Modell nicht in ausreichendem Maße die sozioökonomischen Systemdimensionen repräsentiert. In Abschnitt 5.7.5 wurde der Systemdimensionskreis um die Entitäten Mensch, Gesellschaft, Wirtschaft und Straße erweitert. Da diese Entitäten in der UVS und damit im Modell nicht erfasst sind, soll in Abschnitt 6.6.2 ein Teilmodell dieser Systembestandteile erstellt werden.

#### 6.6.2 Qualitatives sozioökonomische Teilmodell aus Delphi-Studie

In Abschnitt 5.7.5 wurde herausgearbeitet, inwiefern Mensch und Gesellschaft, Wirtschaft und Straße bei der Modellierung von SuL berücksichtigt werden sollen. Im Rahmen der Delphi-Studie wurden die Teilnehmenden als wesentliche Akteur:innen des SuL-Systems, im Kontext des Vorhabens OU Elstorf, u.a. nach deren Zielen, Problemen und deren beeinflussenden Faktoren befragt. Dies stützt sich auf die Erkenntnisse des Abschnittes 4.4. Darin wurde dargelegt, dass die Handelnden ein Wissen über die Ziele, die Mittel des Handelns sowie von den Umständen benötigen, um ihr Handeln darauf auszurichten. Die Ergebnisse werden in ein Teilmodell des sozioökonomischen Modells überführt. Die Grundlage des Modells bildet das Bulls-Eye-Diagramm der beschriebenen Probleme und deren Stellhebel (Abbildung 94). Daraus kann jeweils ein kausaler Zusammenhang hergestellt und in einem Modell dargestellt werden. Zusätzlich werden die genannten Ziele in das Modell überführt. Die Probleme werden – analog zur Darstellung im Bulls-Eye-Diagramm (Abbildung 95) in Rot, die Stellhebel in Blau dargestellt. Die Ziele werden in Lila ergänzt.

Das Ergebnis ist in Abbildung 99 dargestellt. Die Verbindungen wurden logisch deduktiv ergänzt, beispielsweise der Zusammenhang zwischen der Information und dem Wissen der Akteur:innen mit der Qualität und Akzeptanz der Richtlinien des Handelns. Dennoch fällt auf, dass sich aus den Ergebnissen der Delphi-Studie kein komplexer Zusammenhang aller Entitäten ableiten lässt. Eine Betrachtung dieses Teilmodells allein hat demnach nur eine begrenzte Aussagekraft.

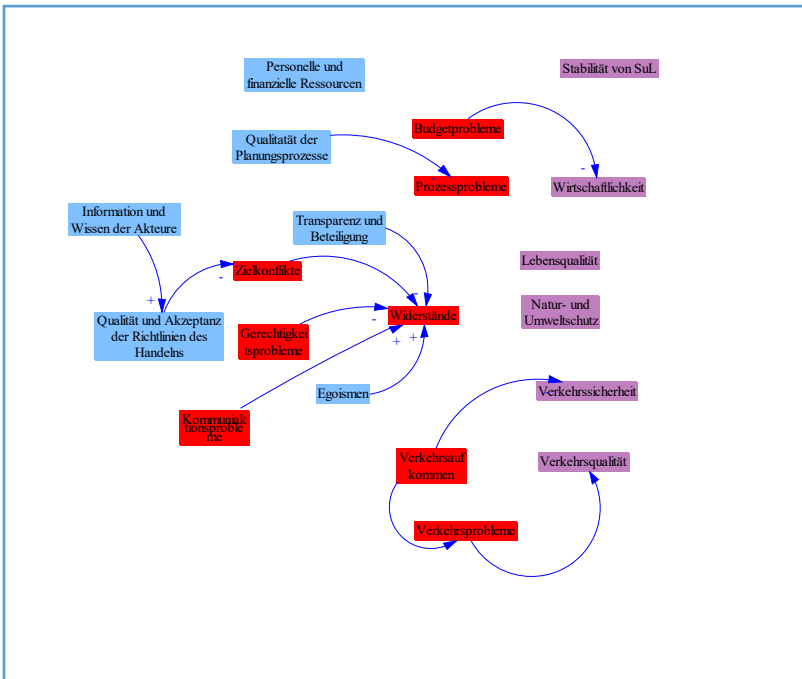


Abbildung 99: Ziele, Probleme und Stellhebel in sozioökonomischen Systemen als Ergebnis der Delphi-Studie. Rote Hinterlegung=Probleme, blaue Hinterlegung=problembeeinflussende Faktoren, lila Hinterlegung=Ziele (eigene Darstellung).

Das Teilmodell zeigt auf, dass noch weitere Deduktionen zur Erstellung des sozioökonomischen Modells von SuL erforderlich sind.





Abschnitt 5.5 wissen wir, dass der Vorplanung einer Straße die Feststellung eines Bedarfs vorausgeht. Dies wird durch die Variable „Bedarf für Straßenbau“ berücksichtigt. Diesem Schritt gehen eine politische Willensbildung sowie ein verkehrlicher Bedarf voraus (vgl. BRACHER & BÖSL 2017). Ein wesentliches Ziel der Verkehrsplanung ist die Verbesserung der Verkehrsqualität (vgl. Abschnitt 6.5). Ist diese zu gering, und dies kann auch erst mit großem zeitlichem Verzug deutlich werden, kann dies zu einem neuerlichen verkehrlichen und politischen Bedarf führen. Die mit den blauen, starken Pfeilen dargestellten Wirkbeziehungen ergeben eine Rückkopplung. Durch die Kombination aus negativen und positiven Vorzeichen der Wirkungspfeile ergibt sich die Richtung der gesamten Rückkopplung (nähere Erläuterungen im Exkurs in Abbildung 101).

SCHWEDES (2018) beschreibt diese Wechselwirkung als den Zusammenhang zwischen dem Bedürfnis nach Mobilität, welches durch die angebotene Infrastruktur – den Bau von Straßen – gedeckt wird und damit Verkehr erzeugt. Durch das Abschätzen des zukünftigen Bedarfs auf der Grundlage der Wachstumszahlen der Vergangenheit wird ein Bedarf prognostiziert. Der Bedarf führt zu Planung und Bau von Straßen. Damit wächst das Angebot und neuer Verkehr entsteht – und damit die Bestätigung der Prognosen (vgl. SCHWEDES 2018).

Diese positive Rückkopplung führt zu einem langfristigen Wachstum des Straßenbaus, des Verkehrs und schließlich auch der Kosten. Diese Wirkung kann sich allerdings überregional auswirken und damit die Grenzen des Systems *SuL* überschreiten, denn es „sorgt dafür, dass neuer Stau auf höherem Niveau und an anderer Stelle entsteht, womit abermals Geld in den Stauabbau investiert werden muss“ (SCHWEDES 2018).

## Exkurs zu Rückkopplungen

Ist die Anzahl der Pfeile mit negativem Vorzeichen 0, 2, 4 oder eine andere gerade Zahl, dann führt das Verhalten der Rückkopplung zu einem Verstärken der Wirkung – einem **Reinforcing Loop (R)** (FORD 2010).

**Beispiel:** Person A fühlt sich von Person B bedroht. Je größer diese Bedrohung wahrgenommen wird, desto mehr bedroht sie ihrerseits Person B. Diese Bedrohung wird von Person B wiederum als Bedrohung wahrgenommen, weswegen sie Person A noch mehr bedroht. Dies wird durch die beiden roten, mit Plus gekennzeichneten Pfeile in Fall 1 dargestellt. Aus diesem Verhalten entwickelt sich eine Eskalationsspirale und damit ein **Reinforcing-Loop**. In Fall 2 reagiert Person C eskalierend auf die Bedrohung durch A und reduziert die Bedrohung gegenüber A. Es entwickelt sich eine negative Rückkopplung (Balancing Loop) mit einer ungeraden Zahl von Pfeilen mit negativem Vorzeichen.

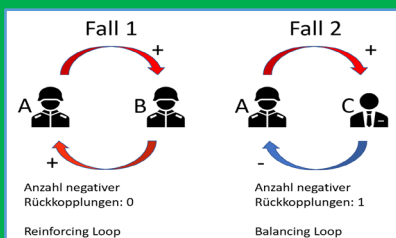


Abbildung 101: Exkurs Rückkopplung (eigene Darstellung).

## Loop 2

Eine weitere Rückkopplung, welche sich jedoch innerhalb der Grenzen des Systems bewegt, ist durch die Wechselwirkungen zwischen dem Verkehr, der Verkehrsqualität und der Attraktivität der Verbindung gegeben. Der Zusammenhang zwischen Verkehr und Verkehrsqualität kann mit Hilfe des **Fundamentaldiagramms** des Verkehrs dargestellt werden (Abbildung 102). Möchten mehr Personen am Verkehr auf einer Strecke teilnehmen, dann steigt die **Verkehrsstärke  $q$**

[Fz/h] (Abbildung 102 oben links). Dies führt dazu, dass sich immer mehr Fahrzeuge auf einem Streckenabschnitt befinden – es steigt die **Verkehrsdichte**  $k$  [Fz/km]<sup>n</sup> (ebd.). Jede Strecke hat eine maximal mögliche Verkehrsstärke  $q_{\max}$ . Ist diese überschritten, vollzieht sich ein Phasenwechsel von einem stabilen hin zu einem instabilen Bereich und der Verkehr beginnt sich zu stauen – die **Geschwindigkeit**  $V$  [km/h] sinkt (Abbildung 102 unten rechts).

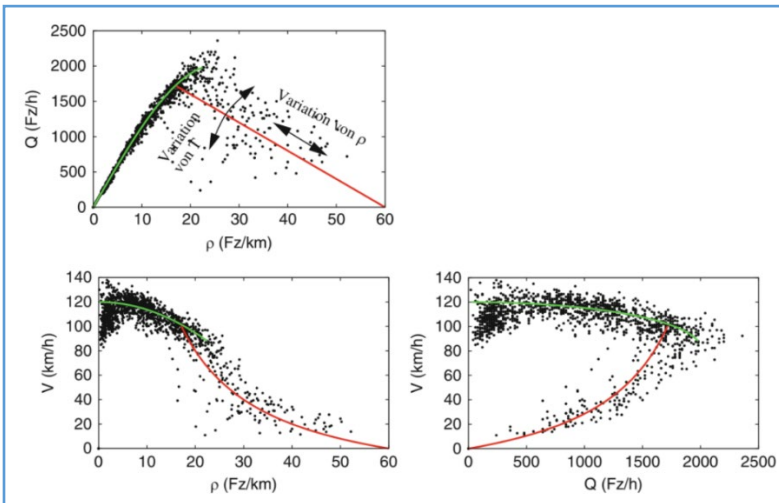


Abbildung 102: Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke, -dichte und Geschwindigkeit (TREIBER & KESTING 2010).

Je häufiger dies geschieht, desto weniger attraktiv ist die Verbindung. Dies führt dazu, dass weniger Fahrer:innen diese Strecke nutzen möchten. Es handelt sich hierbei um eine negative, stabilisierende Rückkopplung – ein **Balancing Loop**. Diese Rückkopplung ist in Abbildung 100 mit dünnen blauen Pfeilen gekennzeichnet. Negative Rückkopplungen erkennt man daran, dass die Anzahl von negativen Wirkungen (Pfeile mit Minus gekennzeichnet) in einem Loop eine ungerade Zahl einnehmen (vgl. FORD 2010).

### Loop 3

Die dritte betrachtete Rückkopplung führt über den Straßenbau zu den Auswirkungen des Straßenbaus, wobei hier die zuvor genannten Auswirkungen zunächst zusammengefasst werden. Diese Auswirkungen werden von einigen Akteur:innen als Belastung empfunden und kollidieren ggf. mit deren Zielvorstellungen. Andere Akteur:innen wiederum fühlen sich weniger belastet und sehen keine großen Abweichungen gegenüber ihren Zielvorstellungen. Bezogen auf die OU Elstorf kann man die Anwohnenden der Ortsmitte von jenen am westlichen sowie am östlichen Ortsrand unterscheiden. Je nachdem, ob und, wenn ja, welche Trassenvariante gewählt wird, werden sich die einzelnen Gruppen einer unterschiedlichen Belastung und mit einer differierenden Erfüllung ihrer Zielvorstellungen konfrontiert sehen. Dies führt in der Gesamtheit der Akteur:innenlandschaft zu Zielkonflikten, welche ihren Ausdruck in Widerständen gegen die Planung als Ganzes oder in Teilen finden. Diese Widerstände führen über Konflikte zu einer verminderten Akzeptanz des konkreten Vorhabens bzw. solcher Vorhaben (vgl. LISETSKA 2017, VDI 2014).

Bei einer verringerten gesellschaftlichen Akzeptanz kann man auch von einer Abnahme des politischen Willens ausgehen, so dass „eine Belastungsgrenze des politischen Systems erreicht werden [kann], über die hinaus der Bau und Betrieb von Verkehrsinfrastrukturen, die die Lebensqualität von immer mehr Menschen beeinträchtigen, nicht mehr vermittelbar ist, so dass die Zahl eskalierender Auseinandersetzungen um solche Projekte zunimmt“ (RAMMLER 2015).

#### 6.6.4 Koppelung der qualitativen sozioökonomischen Teilmodelle

Die einzelnen qualitativen sozioökonomischen Teilmodelle werden durch Koppelung zu einem qualitativen sozioökonomischen Modell verbunden. Dies geschieht, indem nach Verbindungen zwischen den Variablen der verschiedenen Teilmodelle gesucht wird (vgl. Abbildung 103).



Ferner zeigt sich, dass sich viele Entitäten mit den beiden Variablen **Zielkonflikte** und **Widerstände** verkoppeln lassen. Die Ausnahmen bilden die beiden Variablen **Budgetprobleme** und **Wirtschaftlichkeit**. Um diese mit dem Modell zu verknüpfen, wird die Variable **Kosten** eingeführt. Der Straßenbau verursacht Kosten. Werden sie zu hoch, dann führt dies zu Problemen in der Wirtschaftlichkeit, welche wiederum eine verringerte gesellschaftliche Akzeptanz bewirken.

Die Kopplungen ergeben ein qualitatives sozioökonomisches Teilmodell des Systems *SuL* der OU Elstorf.

## 6.7 Koppelung der qualitativen Teilmodelle zu einem qualitativen Modell von *SuL* im Kontext der geplanten OU Elstorf

Das qualitative sozioökonomische Teilmodell wird im folgenden Schritt mit dem qualitativen ökosystemaren Teilmodell gekoppelt. Dies erscheint notwendig, um das System ganzheitlich zu betrachten und Rückkopplungen zwischen den beiden Teilsystemen zu berücksichtigen. Die Ausführungen von ERK & MÜLLER (2021) unterstützen diesen Gedanken, indem sie die Rückkopplungen zwischen dem Wirtschaftssystem und dem Ökosystem beschreiben.

### 6.7.1 Koppelung der Teilmodelle zu einem qualitativen Modell von *SuL* der OU Elstorf

Die für das Verständnis des Gesamtsystems wichtigsten Verknüpfungen und Ergänzungen sind folgende:

- Neue Variablen sind orange markiert.
- Die Auswirkungen des ökosystemaren Modells werden als Bündel über die Variable **Fläche0** mit dem Straßenbau ver-

bunden. Die Variable **Fläche0** entspricht der Variablen **Fläche**, wurde jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit an einer anderen Stelle platziert.

- Die Bündel der Auswirkungen führen zur neuen Variablen **Belastung Natur und Umwelt**. Diese lässt sich aus dem UVPVwV ableiten, wonach die Auswirkungen eines Vorhabens auf die Umwelt untersucht werden sollen.
- Eine Belastung der Umwelt führt zu einer Verminderung der Lebensqualität.
- Ebenso bewirkt eine Verringerung der **menschlichen Gesundheit** eine verminderte **Lebensqualität**.
- Widerstände können zudem zu **Verzögerungen** im Vorhaben führen, welche wiederum höhere **Kosten** bewirken.
- Ebenso können die Widerstände Änderungen in der Planung zur Folge haben. Diese sind häufig mit höheren Kosten verbunden (z.B. zusätzliche Schallschutzmaßnahmen).

Das gekoppelte Modell ist in Abbildung 104 dargestellt. Durch die große Zahl von Wirkbeziehungen und Entitäten ist das Modell allerdings sehr unübersichtlich.



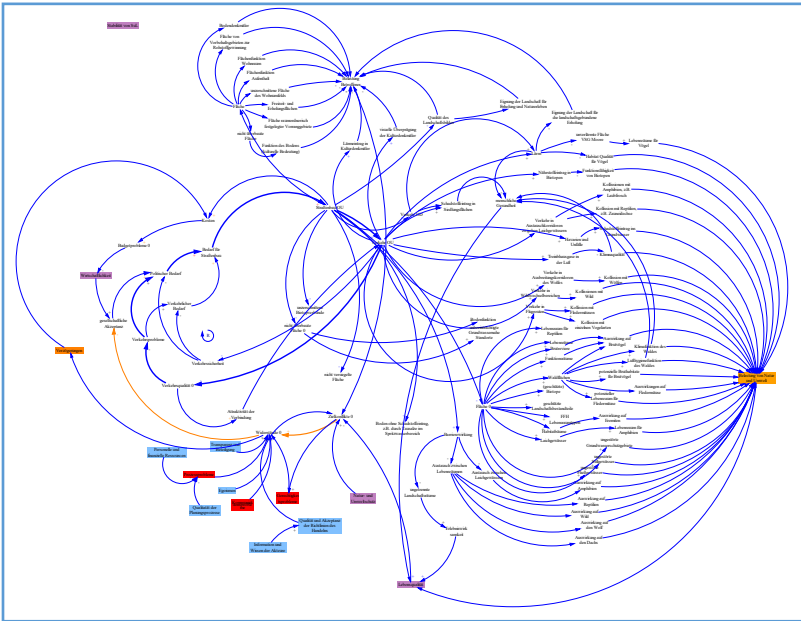


Abbildung 104 Qualitatives Modell von SuL der OU Elstorf. Rote Hinterlegung=Probleme, blaue Hinterlegung=problembeeinflussende Faktoren, lila Hinterlegung=Ziele, (eigene Darstellung).

### 6.7.2 Analyse des qualitativen Modells von SuL der OU Elstorf

Zur Analyse des dynamischen Systemverhaltens kann es sinnvoll sein, Komplexität zu reduzieren. Für dynamisches Verhalten sind insbesondere die Rückkopplungen relevant. Daher werden die Bündel der Auswirkungen wieder herausgenommen und durch die Variable **Auswirkungen** ersetzt. Ebenso werden u.a. die Variablen, welche die Entitäten **Widerstände** und **Zielkonflikte** bestimmen, ausgeklammert. Sie können jedoch später wieder in die Überlegungen mit einbezogen werden. Als Ergebnis erhält man ein vereinfachtes Modell von SuL der OU Elstorf (Abbildung 105). Darin sind insbesondere die Balancing Loops B2 und B4 sowie der Reinforcing Loop R1 mit den fettgedruckten Pfeilen dargestellt. Wie in den Abschnitten 5.4.3 und 5.4.4

beschrieben, kann ein System auch nach einer Datenreduktion noch ausreichend durch ein Modell repräsentiert werden – das Systemverhalten ist darstellbar, ohne dass man sich in Details verliert. Der Analyse liegen, je nach Untersuchungsschwerpunkt, beide Modelle zugrunde.

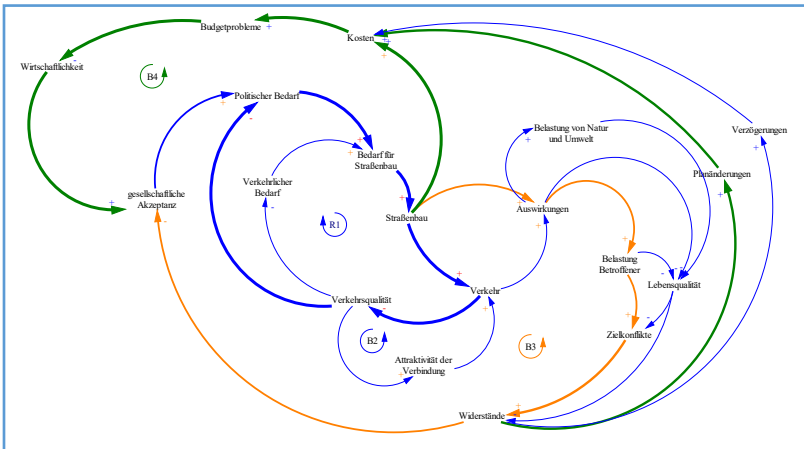


Abbildung 105: vereinfachtes Modell von SuL der OU Elstorf. B2= Balancing Loop 2, Pfeile in blau (dünn), B4= Balancing Loop 4, Pfeile in grün, R1= Reinforcing Loop 1, Pfeile in blau (fett) (eigene Darstellung).

Für das dynamische Verhalten des Systems sind die Variablen, deren Wirkbeziehungen und Rückkopplungen verantwortlich (vgl. FORD 2010). Für die Systemanalyse anhand des Modells sollen daher die in Abbildung 105 dargestellten **Rückkopplungen mit ihrem Einfluss auf das Verhalten des Gesamtsystems** betrachtet und deren möglicher Einfluss auf die **Stabilität des Systems** bewertet werden, bevor auf **ausgesuchte Variablen** und deren Rolle im System eingegangen wird.

## Analyse der Auswirkungen der Rückkopplungen auf die Stabilität des Systems SuL der OU Elstorf

Die Rückkopplungen 1 bis 3 wurden bereits in Abschnitt 6.6.3 beschrieben. Ergänzend wird nach den Kopplungen der einzelnen Teilmodelle, die grün dargestellte negative Rückkopplung (**Balancing Loop B4**) betrachtet. Diese nimmt ihren Ausgang im (geplanten) Straßenbau, welcher Kosten verursachen wird. Werden diese zu hoch, dann führt das im Vorhaben zu Budgetproblemen, welche die Wirtschaftlichkeit des Projekts reduzieren und zu einer Minderung der gesellschaftlichen Akzeptanz führen. Infolgedessen wird seitens der Politik der Bedarf für diese Verbindung als geringer eingeschätzt. In der Praxis kann dies bedeuten, dass ein Vorhaben wegen seiner geringen Wirtschaftlichkeit im Bundesverkehrswegeplan in seiner Dringlichkeit gar nicht oder zu gering eingestuft wird.

Eine denkbare Erweiterung dieser Rückkopplung bezieht die Auswirkungen des Vorhabens und die damit verbundenen Belastungen von Natur und Umwelt sowie Betroffener mit ein. Werden die Widerstände in der Planungsphase zu groß, können daraus Planänderungen entstehen – beispielsweise für Schallschutzmaßnahmen oder Querungshilfen. Diese bewirken wiederum höhere Kosten und gefährden die Wirtschaftlichkeit.

## Systemverhalten

Um eine Aussage zum Verhalten des Systems treffen zu können, müssen die Rückkopplungen bekannt sein. MEADOWS & WRIGHT (2011) beschreiben, dass die Systemstruktur sich aus Systemgrößen, deren Verbindungen untereinander und den Rückkopplungen zusammensetzt. Ferner führen sie aus:

„System structure is the source of system behavior. System behavior reveals itself as a series of events over time“ (MEADOWS & WRIGHT 2011).

Es ist zwischen positiven und negativen Rückkopplungen zu unterscheiden. Positive Rückkopplungen führen zu Wachstum einer Entität – möglicherweise exponentiell, während negative Rückkopplungen zu einem Rückgang der Größe führen (vgl. FORD 2010, VESTER 2015).

Wichtig sind in diesem Zusammenhang **Zeitpunkt und Ort der Wirkungen**. Nicht alle Wirkungen von Rückkopplungen treten zwangsläufig im System *SuL* auf. Zudem können sie sich erst mit großer zeitlicher Verzögerung entfalten. Dies erschwert die Bewertung von Auswirkungen eines Vorhabens in einem System erheblich.

In der Abbildung 106 ist der Zustandsraum der Variablen **Verkehr OU Elstorf** in Abhängigkeit von der Zeit *t* zusammen mit der zeitlichen Einordnung verschiedener Rückkopplungen dargestellt.

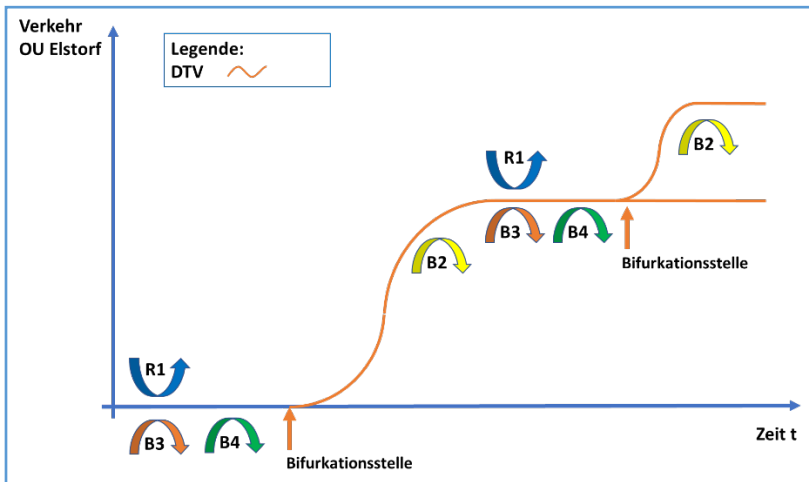


Abbildung 106: Zustandsraum der Variable des Verkehrs in Abhängigkeit von der Zeit *t*. R=Reinforcing Loop, B=Balancing Loop (eigene Darstellung).

Zu Beginn führt das hohe Verkehrsaufkommen der Ortsdurchfahrt (OD) Elstorf zu Problemen in der Verkehrssicherheit sowie in einer verminderten Verkehrsqualität. Es entsteht ein verkehrlicher und poli-

tischer Bedarf, welcher durch die Planung und den Bau einer OU befriedigt wird. Dieser positiven Rückkopplung **R1** wirken die negativen Rückkopplungen **B3** und **B4** entgegen. Die Rückkopplung **B3** stellt dabei zunächst einen möglichen Wandel in der gesellschaftlichen Akzeptanz von Großprojekten allgemein dar, wohingegen sich **B4** auf das konkrete Projekt und dessen Wirtschaftlichkeit mit deren Wirkung auf die gesellschaftliche Akzeptanz bezieht. Diese Phase endet in einer ersten **Bifurkationsstelle** – dem Ort im Zustandsraum, an welchem sich der Zustand des Systems ändern kann oder im aktuellen Zustand verbleibt. Im konkreten Beispiel wird die Bifurkationsstelle durch die Entscheidung über die Realisierung oder deren Unterlassen der OU dargestellt.

Wird die OU gebaut, dann wird durch das neue Mobilitätsangebot die Strecke attraktiv – der Verkehr steigt exponentiell an. Allerdings wird die Zunahme des Verkehrs zu einer Verringerung der Verkehrsqualität und damit einer Abnahme der Attraktivität dieser Verbindung führen – die negative Rückkopplung **B2** beginnt das Verhalten zu dominieren (vgl. Abschnitt 6.6.3). Dies könnte einerseits durch die limitierenden Faktoren des Querschnitts und andererseits an der Limitierung der Zuflüsse an den Systemgrenzen liegen, beispielsweise der Gestaltung der lichtsignalgesteuerten Kreuzung südlich von Elstorf. Dadurch sinkt die Attraktivität der Verbindung mit der Folge, dass einige Verkehrsteilnehmer:innen die Strecke meiden. Der Verkehr wird ein stabiles Plateau erreichen. Der Zustandsraum der Variablen **Verkehr OU** kann ggf. als S-Kurve mit oder ohne Overshoot gezeichnet werden (Abbildung 107) – einem Verhalten, welches in der Systemtheorie als **shifting dominance** und in der Biologie als **density-dependent-feedback** bekannt ist (vgl. MEADOWS & WRIGHT 2011, FORD 2010).

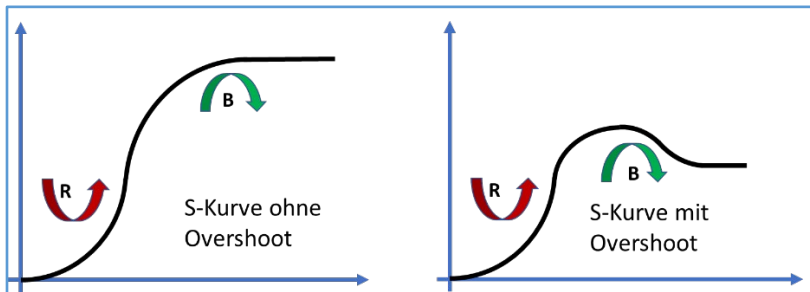


Abbildung 107: Voraussichtliches Systemverhalten in der Phase der Nutzung mit Rückkopplungen (FORD 2010).

Dies kann nach einer unbestimmten Zeit über die positive Rückkopplung **R1** einen neuerlichen Bedarf auslösen, welcher zu einem weiteren Ausbau der Strecke führen müsste. Der Querschnitt der OU Elstorf ist als RQ 11,5+ geplant. Aus Tabelle 23 in resultiert eine maximale Verkehrsstärke von 16.000 Kfz/24h.

Die Prognose des durchschnittlichen täglichen Verkehrs an Werktagen (DTVw) bewegt sich im Bezugsfall 2030 südlich von Elstorf etwas oberhalb dieses Wertes bei 17.200 Kfz/24h (vgl.

NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG).

Es ist daher möglich, dass der anfänglich beschriebene Prozess der Rückkopplungen **R1**, **B3** und **B4** erneut durchlaufen wird, welcher in der zweiten Bifurkationsstelle mündet. Dies könnte zur Folge haben, dass sich durch den **Ausbau der Strecke** der Verkehr auf einem neuen, höheren Niveau stabilisiert oder durch die Wahl der **Nullvariante** der Verkehr auf dem vorherigen Plateau verharrt.

Weitere Szenarien

Der **Loop B3** kann als Rückkopplung mit einer **langfristigen Wirkreichweite** sowie ggf. auf einer **übergeordneten Systemebene** betrachtet werden, insbesondere da ein Wandel in der Sinngestaltung

des sozialen Systems Gesellschaft, u.a. ausgelöst durch Konflikte bei der Planung und Realisierung von Großprojekten, erkennbar ist (vgl. LISETSKA 2017, VDI 2014).

Es ist einerseits denkbar, dass infolge zunehmender Widerstände bei der Realisierung von Infrastrukturprojekten im übergeordneten Gesellschaftssystem die Akzeptanz sinkt und in der Folge keine weiteren Ausbauschnitte im System *SuL* der OU Elstorf erfolgen. Andererseits ist es auch möglich, dass wegen des **Rückstaus im Kreuzungsbereich** der B 3 mit der K 31 und K 52 südlich von Elstorf die Widerstände gegen den Status quo zunehmen und dies wiederum zu einem neuen Bedarf und einem Ausbau dieses Abschnitts führt. Folglich steigt mit der Kapazität der Strecke durch den Wegfall der limitierenden Kreuzung auch der Verkehr. Das System könnte einen neuen Zustand erreichen und die Verkehrsbelastung sich auf einem höheren Niveau stabilisieren.

Die Rückkopplung **B4** ist zeitlich in der **Planungsphase** verortet. Im engeren Sinne sorgt sie dafür, dass sich Projekte innerhalb eines gesellschaftlich und politisch tolerierten Rahmens bewegen. Die erweiterte Betrachtung der Rückkopplung erfasst im Zuge der Planung auch die „Auswirkungen eines Vorhabens auf die Umwelt“ (BRACHER & BÖSL 2017). Dies kann Widerstände verschiedener Akteur:innen oder Akteur:innengruppen hervorrufen. Die daraus resultierenden Konflikte können Verzögerungen im Projektablauf und Kostenerhöhungen bewirken (vgl. FLYVBER ET AL. 2004, FLYVBJERG 2017, BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015). Dies muss sich nicht unmittelbar auf das konkrete Projekt auswirken – kann jedoch dazu führen, dass auf längere Sicht die gesamtgesellschaftliche Akzeptanz von Projekten verringert wird. Die Widerstände stellen im System eine der Schlüsselvariablen dar, weshalb diese etwas näher betrachtet werden.

Die Schlüsselvariable **Widerstände 0** im Modell SuL OU Elstorf

In der Abbildung 108 ist die Verortung der Variable **Widerstände 0** im Modell dargestellt. Sie befindet sich innerhalb der Rückkopplung **B3** und verbindet diese mit der erweiterten Rückkopplung von Loop **B4**. Ferner ist die Variable mit den **Zielvariablen Natur- und Umweltschutz** und **Lebensqualität** direkt verbunden. Sie beeinflusst daher zwei negative Rückkopplungen und ist mit zwei Zielvariablen unmittelbar verbunden. Eine Verringerung der Widerstände wäre somit ein geeignetes Werkzeug, um die Systemstabilität zu erhöhen.

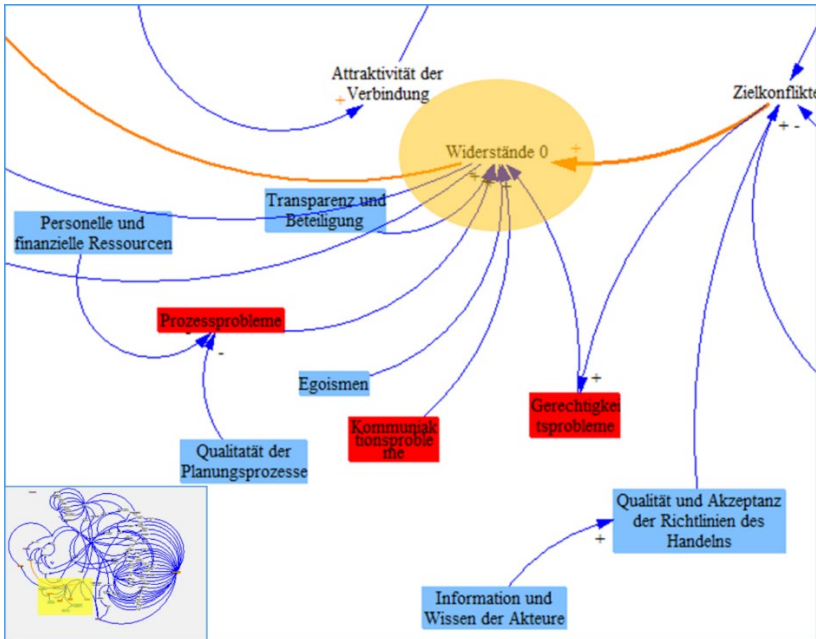


Abbildung 108: Die Verortung der Widerstandsvariablen im Modell von SuL der OU Elstorf. Der gelbe Ausschnitt im Bild unten links zeigt die Position der Variable im Gesamtsystem aus Abbildung 105 (eigene Darstellung).



Die Analyse der Rückkopplungen in Vensim PLE zeigt zudem, dass **Widerstände** in 42 Rückkopplungen mit einer maximalen Länge von 13 involviert sind.

Die Auswertung **Causes Tree** in Vensim PLE richtet den Blick auf jene Variablen, welche die zuvor ausgewählte Variable beeinflussen. Die Betrachtung geht dabei bis zu drei Schritte in den Rückkopplungen zurück. Diese Auswertung liefert insbesondere bei passiven Variablen Hinweise auf mögliche Stellhebel für die Lösung des Problems (vgl. Abschnitt 6.4.2).

Die Abbildung 109 zeigt den Causes Tree für die Variable **Widerstände** des nicht vereinfachten Modells.

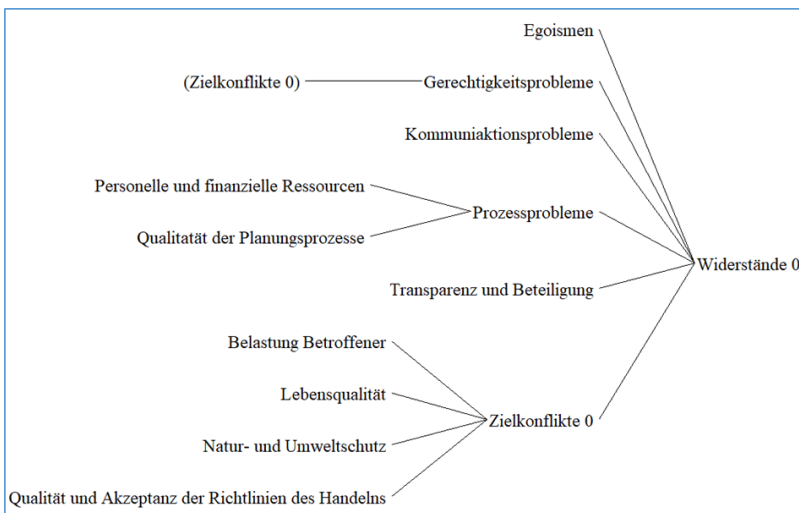


Abbildung 109: Causes Tree der Variable **Widerstände 0** (eigene Darstellung).

Aus dieser Darstellung kann man zurückverfolgen, welche Entitäten die Variable beeinflussen, um ggf. Stellhebel aufzufinden, mit welchen das Verhalten der untersuchten Variablen beeinflusst werden kann. Dabei fällt auf, dass insbesondere Aspekte sozialer Systeme die

**Schlüsselvariable *Widerstände 0***<sup>1</sup> beeinflussen. In Abschnitt 3.4 wurde ausgeführt, dass die Kommunikation das Ordnungsprinzip sozialer Systeme darstellt. Widerstand – auch für nicht-soziale Entitäten – wird den Vorhaben von Akteur:innen entgegengebracht, welche das Mittel der Kommunikation nutzen, sei es über das Medium Prozesse, der Diskussion im Rahmen von Konflikten oder der Information und Beteiligung. MÜLLER (2017) warnt bei letzterem vor einem Missbrauch und postuliert, dass diese nur „sinnvoll [seien], wenn sie eine ernsthafte Chance haben, die Planung zu beeinflussen“ (MÜLLER 2017).

Auch den ethischen Themen Gerechtigkeit und Lebensqualität kommt im Modell eine tragende Rolle zu. Das „Ziel der Ethik ist, methodisch gesichert (also wissenschaftlich) die Grundfragen für ein gutes, gerechtes und vernünftiges Leben zu beantworten“ (DALLMANN 2017). MÜLLER (2017) verweist mit seinen Orientierungspunkten für eine nachhaltige räumliche Planung u.a. auf das Differenzprinzip Rawls, wonach „den am wenigsten Begünstigten [der] größtmögliche Vorteil“ (RAWLS 2020) zukommen sollte.

Mit der Funktion **Uses Tree** kann wiederum betrachtet werden, welche Variablen von der ausgewählten Größe beeinflusst werden. Es ist festzustellen, dass die Widerstände im Modell u.a. auf den zeitlichen und monetären Verlauf des Projektes wirken (Abbildung 110).

---

<sup>1</sup> Bezeichnungen von Variablen mit fortlaufender Nummerierung (Widerstände 0, Widerstände 1, usw.) beziehen sich auf dieselbe Variable. Eine Differenzierung durch Nummerierung ist für die Koppelung in Vensim PLE erforderlich, wenn mehrere Teilmodelle diese Variable beinhalten.

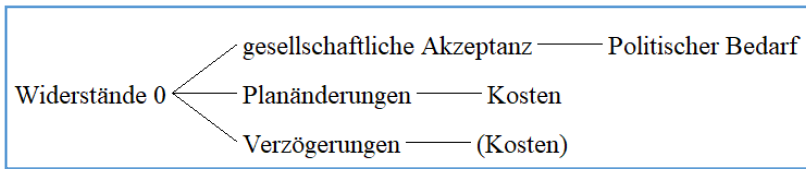


Abbildung 110: Uses Tree der Variable Widerstände 0 (eigene Darstellung).

Tatsächlich wurde dem Vorhaben OU Elstorf Widerstand u.a. durch eine Bürgerinitiative entgegengebracht.

Nach Angaben der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau wurden im März 2019 sowie im Oktober 2021 sogenannte Planungswerkstätten durchgeführt, um „eine umfassende und frühzeitige Bürgerbeteiligung (PLANUNGSWERKSTATT 2022) sicherzustellen. Betrachtet man die Rückkopplung B3, dann könnte eine frühzeitige Beteiligung zu frühen Planänderungen oder -ergänzungen und damit zu Mehrkosten oder Einsparungen führen (vgl. Abbildung 55). Dieser Umstand kann zunächst zu Budgetproblemen und einer geringeren Wirtschaftlichkeit führen. Dem kann jedoch entgegnet werden, dass sich mit der „Mitnahme“ widerständiger Akteur:innen die gesellschaftliche Akzeptanz erhöht und damit der Rückkopplung **B4** entgegengewirkt werden kann. Zudem ist gerade in den frühen Phasen der Planung der Planungsgegenstand noch mit vergleichsweise geringem monetärem Aufwand veränderbar. Dieselben Planänderungen können in einer späten Phase, beispielsweise durch Klageverfahren, ungleich teurer werden (vgl. Abschnitt 5.5.9). Daraus kann abgeleitet werden, dass die in Planungsverfahren häufig als Hemmnis wahrgenommenen Widerstände auch genutzt werden können, um das Vorhaben konstruktiv zu fördern. Mit diesem Prinzip kann „Fremdenergie [...] genutzt“ (VESTER 2015, 1999) werden, bei gleichzeitiger Förderung der Selbstorganisation. Dies ist ein Kennzeichen funktionierender Systeme (vgl. VESTER 2015, MEADOWS & WRIGHT 2011).

Widerstände gehen von sozialen Systemen aus, welche das „komplexeste System [sind,] das wir derzeit überhaupt kennen“ (KRIEGER

1998). Eine Simulation der Schlüsselvariable Widerstand wird im Rahmen der Case Study aus Gründen des zu großen Aufwands nicht durchgeführt. Perspektivisch könnte eine vertiefende Betrachtung sozialer Strukturen, beispielsweise im Rahmen einer Sozialraumanalyse, sicherlich hilfreich sein, um ein besseres Verständnis über die sozialen Systeme im Planungsraum zu gewinnen.

Die Schlüsselvariable Verkehr OU im Modell SuL OU Elstorf

Die Abbildung 111 zeigt die Verortung der Variable **Verkehr**. Diese befindet sich innerhalb der positiven Rückkopplung **R1** sowie der negativen Rückkopplung **B2**. Sie ist direkt mit den Zielvariablen Verkehrssicherheit und Verkehrsqualität verknüpft. Sie beeinflusst folglich diese beiden Rückkopplungen mit ihren unterschiedlichen zeitlichen Horizonten. Eine Verringerung der **Widerstände** wäre somit ein geeignetes Werkzeug, um die Systemstabilität zu erhöhen. Gemeinsam mit dem **Straßenbau** bildet der **Verkehr** die Ursache für die u.a. in der UVS genannten **Auswirkungen** und stellt daher eine Schlüsselvariable im Modell SuL der OU Elstorf dar.



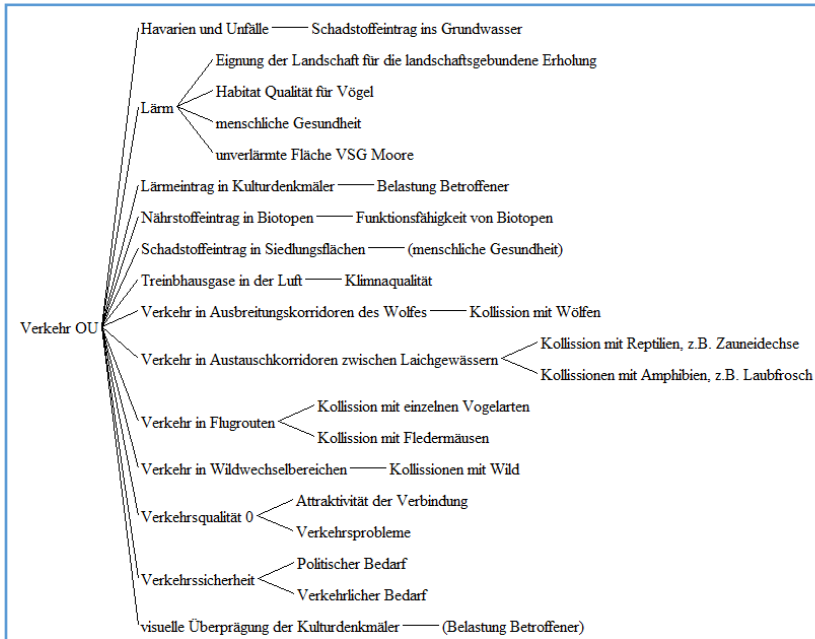


Abbildung 112: Uses Tree der Schlüsselvariablen Verkehr OU (eigene Darstellung).

Die **Causes-Tree**-Darstellung zeigt hingegen, dass die Variable **Verkehr OU** mit dem **Straßenbau** und der **Attraktivität der Verbindung** lediglich von zwei Variablen unmittelbar beeinflusst wird (Abbildung 113), und ist folglich als eine besonders aktive Variable zu bewerten. Ferner nimmt sie innerhalb der positiven Rückkopplungsschleife **R1**, gemeinsam mit der Variablen **Verkehrssicherheit**, die besondere Stellung sehr dynamischer Größen ein. Dies unterscheidet sie in erheblichem Maße von der Variablen **Straßenbau**. Letztere beeinflusst zwar elf weitere Variablen direkt, entfaltet jedoch selbst nur eine sehr langfristige Dynamik, und nur dynamische Variablen eignen sich auch für die dynamische Simulation (FORD 2010).

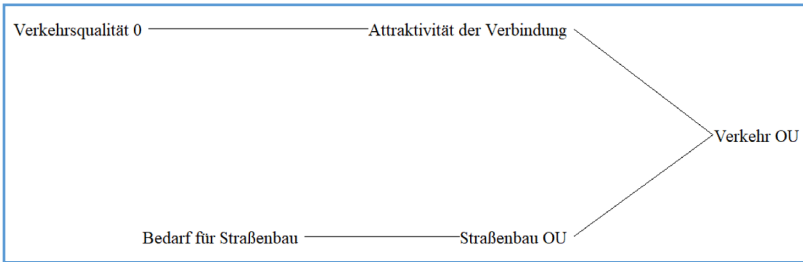


Abbildung 113: Causes-Tree-Darstellung der Schlüsselvariablen Verkehr OU (eigene Darstellung).

Der Variablen **Verkehr OU** kommt hingegen eine hervorgehobene Bedeutung zu, und zwar aufgrund ihres **aktiven Charakters**, ihrer **dynamischen Eigenschaften** und ihrer **Scharnierposition** zwischen den Rückkopplungen **R1** und **B2**.

Ergebnisse der Koppelung der qualitativen Teilsysteme von SuL der OU Elstorf

Die Koppelung und Analyse der qualitativen Teilsysteme von SuL der OU Elstorf leisten bereits einen nennenswerten Beitrag zur Beantwortung der Fragestellungen:

***Kann mittels Modellbildung und Simulation ein Systemverhalten abgebildet werden, welches im Rahmen sektoraler Betrachtungen einzelner Entitäten nicht darstellbar ist?***

Die Koppelung der einzelnen Teilmodelle und die Analyse des Gesamtmodells geben die folgenden Hinweise auf ein mögliches Systemverhalten, welches durch die Betrachtung einzelner Systementitäten nicht ableitbar ist:

- Die Variablen Straße und Verkehr sind nicht nur Ursache, sondern auch als Wirkungen anderer Ursachen in das System eingebunden.

- Widerstände werden in einer sektoralen Betrachtung, beispielsweise im Rahmen einer UVS, lediglich als Ursache für die Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt betrachtet. Durch die Gesamtschau des Modells wird ersichtlich, dass diese auch eine Schlüsselvariable für die Beeinflussung des Systems ist.
- Der Ausbau von Infrastruktur kann Verkehr anziehen mit der Folge, dass das System mit zeitlichem Verzug einen Zustand einnimmt, welcher die ursprünglich aufgetretenen Probleme wieder aufwirft.

***Besitzt das System SuL des konkreten Vorhabens Instabilitäts-  
punkte und ergeben sich aus der Betrachtung des Modells Hin-  
weise auf Bifurkationsstellen?***

Die Betrachtung des Systemverhaltens zeigt, dass sich das System im zeitlichen Verlauf mehrfach in einem Spannungsverhältnis zwischen positiven und negativen Rückkopplungen befindet. Das Verhalten kann mittels des qualitativen Modells zwar nicht mathematisch berechnet werden; dennoch können aus der Modellstruktur in der Tendenz Vorhersagen über den voraussichtlichen Verlauf abgeleitet werden. Hinsichtlich der Stabilität können die folgenden Aussagen getroffen werden:

- Im Modell konnten vier das Systemverhalten bestimmende Rückkopplungen identifiziert werden: R1, B2, B3 und B4 (Abbildung 105).
- Es wurden zwei Bifurkationsstellen erkannt und beschrieben. Die erste befindet sich am Zeitpunkt der Entscheidung über die Realisierung der OU. Die zweite Bifurkationsstelle ist zeitlich später verortet, wenn aufgrund des neuerlich zugenommenen Verkehrs eine Entscheidung für oder gegen einen weiteren Ausbau getroffen wird.



- Es ist zudem denkbar, dass die Analysen einzelner Entitäten weitere Bifurkationsstellen aufzeigen.
- Mit dem Verkehr und den Widerständen wurden zwei wesentliche Schlüsselvariablen erkannt. Die dynamische Variable Verkehr OU kann in einem Folgeschritt in ein simulationsfähiges mathematisches Modell überführt werden. Es ist hilfreich für das Verständnis, insbesondere an einem konkreten Beispiel die Auswirkungen des Verkehrs zu simulieren.

#### Fazit:

Das gekoppelte qualitative Modell zeigt ein Verhalten, welches aus seinen Entitäten nicht erklärbar ist, und bietet damit den an den Entscheidungsprozessen Beteiligten die Möglichkeit, die Auswirkungen dieser Entscheidungen besser als in herkömmlichen UVS zu bewerten. Eine intensive Beschäftigung mit der Schlüsselvariablen **Widerstände** bietet die Chance, die darin enthaltene Energie für die **Selbstorganisation des P-Systems** zu nutzen. Abschließend wird angeregt, den Sozialraum in der Praxis tiefergehender zu analysieren.

## 6.8 Quantitatives Teilmodell der abgetrennten Teilpopulation des Laubfrosches (*Hyla arborea*) südlich von Elstorf

In Abschnitt 6.7 wird empfohlen, die Wechselwirkungen zwischen den Entitäten des Systems *SuL* näher zu untersuchen. Das Vorgehen und der daraus folgende Erkenntnisgewinn soll am Beispiel der Interdependenzen zwischen der Schlüsselvariablen **Verkehr**, dem **Schutzgut Fläche** und der **Population des Laubfrosches** verdeutlicht werden. Die Simulation dynamischer Systeme erfordert die Festlegung der Dimension und der Anzahl der Zeitschritte (vgl. FORD 2010). Die Rückkopplungen im qualitativen Modell der OU Elstorf wirken jedoch in unterschiedlichen Zeiträumen (vgl. Abschnitt 6.7). *Tabelle 42* ordnet die Variablen den Systemdimensionen des Systems *SuL* sowie ihrer zeitlichen Dynamik zu. Beispielsweise könnte nach dem Bau einer Straße und dem damit verbundenen Flächenverlust erst nach einigen Jahren ein Bedarf für einen weiteren Ausbau entstehen. Das Verkehrsaufkommen könnte jedoch stündlichen Schwankungen unterliegen und die Population des Laubfrosches könnte sich in einem monatlichen oder wöchentlichen Rhythmus verändern.

*Tabelle 42: Zuordnung der betrachteten Variablen zu den Systemdimensionen im System SuL.*

Variable	Systemdimension	Zeiträume der Dynamik
<b>Straße</b>	technisch	Jahre
<b>Verkehr</b>	technisch, sozial	Stunden
<b>Fläche</b>	abiotisch	Jahre
<b>Laubfrosch</b>	biotisch	Monate, Wochen

Für die Bildung des **Teilmodells Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfrosches** werden die vorgenannten Entitäten (Variablen) aus dem qualitativen Modell des Systems *SuL* der

OU Elstorf durch **Dekomposition** herausgelöst und isoliert betrachtet. In der **Rekomposition** wird untersucht, welche Erkenntnisse der Simulation im übergeordneten qualitativen Modell des Systems SuL der OU Elstorf berücksichtigt werden sollen (Abbildung 114).

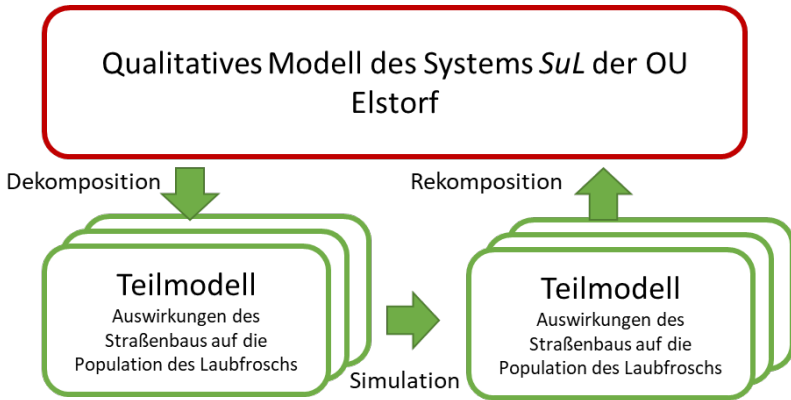


Abbildung 114: Einordnung der Simulation in den Prozess der De- und Rekomposition (eigene Darstellung).

Die unterschiedlichen Zeiträume der Dynamik werden in der Simulation des Teilmodells berücksichtigt, indem der Bau der Straße und der damit verbundene Flächenverlust in der Simulation mit den beiden Zuständen **vor** und **nach** dem Bau angenommen werden. Dies folgt auch der Logik des § 3 UVPG, welcher auf die Auswirkungen des **Vorhabens** auf die Schutzgüter abzielt und damit nicht noch etwaige zukünftige Folgevorhaben in die Betrachtungen mit einbezieht. Diese in Abschnitt 6.7 beschriebenen längerfristig wirkenden Rückkopplungen werden nach der Rekomposition im qualitativen Modell beurteilt.

Die differierenden Zeithorizonte der Dynamik der Population des Laubfroschs und des Verkehrsaufkommens wird aufgelöst, indem in einem weiteren Dekompositionsschritt das **Teilmodell Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfroschs** in die beiden **Teilmodelle Population des Laubfroschs** und **Verkehr auf**

der **OU Elstorf** dekomponiert wird. Diejenigen Parameter des Teilmodells Verkehr, welche die Population des Laubfrosches beeinflussen, werden als störende Flussgrößen im Populationsmodell berücksichtigt.

Abbildung 115 zeigt den Ablauf der Simulation im Teilmodell Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfroschs. Die einzelnen Schritte der Modellbildung und Simulation orientieren sich an der in Abschnitt 6.2.3 beschriebenen Methodik.

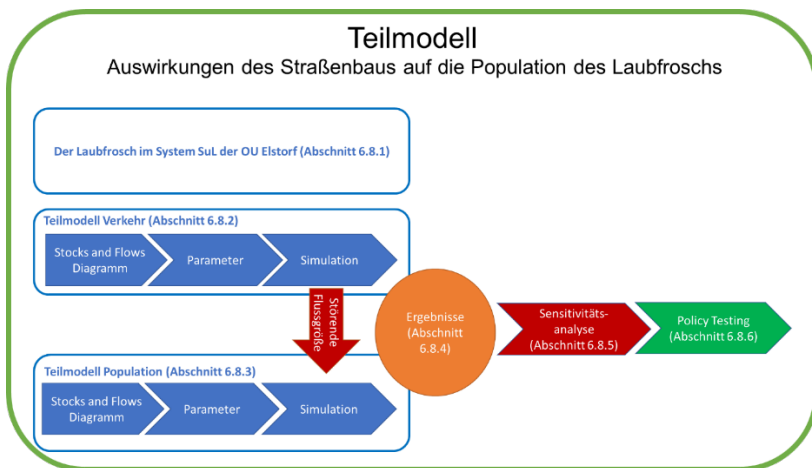


Abbildung 115: Ablauf der Simulation im Teilmodell Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfroschs (eigene Darstellung).

### 6.8.1 Der Laubfrosch im System SuL der OU Elstorf

Der Laubfrosch ist eine Art nach Anhang IV der FFH-Richtlinie und gilt als gefährdet (ROTE LISTE BMBF LS5 2019).

GROSSENBACHER et al. (2012) beschreiben den Rückgang des Laubfrosches in Deutschland.

Der Untersuchungsraum nach § 15 UVPG umfasst 2.350 ha und ist durch das rot umrandete Gebiet in Abbildung 116 dargestellt (vgl. NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG)

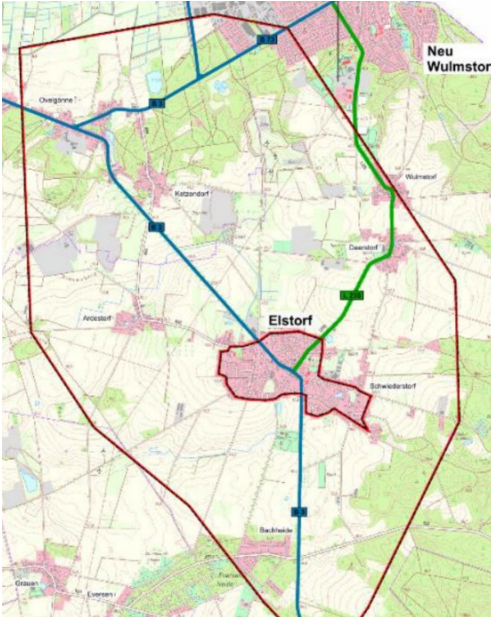


Abbildung 116: Grenzen des Untersuchungsraumes der OU Elstorf

Im Rahmen der faunistischen Untersuchung wurde der Laubfrosch (*Hyla arborea*) im Untersuchungsraum an 26 Gewässern nachgewiesen. Das Verbreitungsgebiet erstreckt sich über mehrere größere Flächen nördlich von Elstorf bis Ovelgönne und Neu Wulmstorf sowie südlich von Elstorf beidseits der bestehenden B 3 bis Bachheide. Im Norden existieren mittelgroße bis große Rufergemeinschaften, während im Bereich südlich von Elstorf kleine Bestände vorhanden sind. Nördlich des Ortsteils Bachheide befindet sich ein naturnahes Stillgewässer in unmittelbarer Nähe der zukünftigen Trasse. Abbildung 117 zeigt die rechnerisch ermittelten Populationsgrößen (Einheit Exemplare) der Teilpopulationen (vgl. Abschnitt 6.8.3). Der Buchstabe „L“ hinter der Anzahl der Exemplare verweist darauf, dass im Rahmen der

faunistischen Untersuchung die Reproduktion nachgewiesen werden konnte (vgl. NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG).

### Das Konzept der Metapopulation

„Eine Metapopulation ist eine Gruppe von Populationen, die durch Wanderungen von Individuen miteinander verbunden sind. Hier genügt es im Prinzip, wenn nur eine Population Nachwuchs produziert. Dieser Nachwuchs kann in Gewässer abwandern, in denen kein Nachwuchs überlebt hat“ (SCHMIDT et al. 2015).

Am Beispiel einer Metapopulation in Schweden ermittelte EDENHAMMN (1996) ein Extinktionsrisiko i.H.v. 24,5 %. Im gleichen Zeitraum wurde die Kolonisationsrate mit 33,1 % ermittelt (vgl. GROSSENBACHER et al. 2012). Zudem nimmt „[d]ie Aussterbewahrscheinlichkeit [...] mit zunehmender Größe der Lebensräume (Feuchtgebiete, Laichgewässer, mit Umfeld, habitat patches) ab“ (GROSSENBACHER et al. 2012). Die Abbildung 117 zeigt neben der Anzahl der Exemplare auch die möglichen Austauschbeziehungen nach dem Bau der OU Elstorf sowie einen angenommenen 1000-m-Aktionsradius (vgl. Abschnitt 6.8.3).

Daraus können die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- Ein Gewässer mit 115 Exemplaren liegt genau auf der geplanten Trasse und wird damit überbaut (gelbe Markierung).
- Durch die OU werden einige Populationen voneinander getrennt.
- Infolge von Überbauung und durch die Trennwirkung sind einige Austauschbeziehungen nicht mehr möglich (rote Pfeile; grüne Pfeile verweisen auf mögliche Austauschbeziehungen).
- Die kleine Population südlich von Elstorf (rot markiert) bildet durch die trennende Wirkung des Straßenkörpers eine abgetrennte Teilpopulation.

- Im Lebensraum dieser Teilpopulation befinden sich zwei der vier Gewässer im Untersuchungsraum mit Reproduktionsnachweisen.

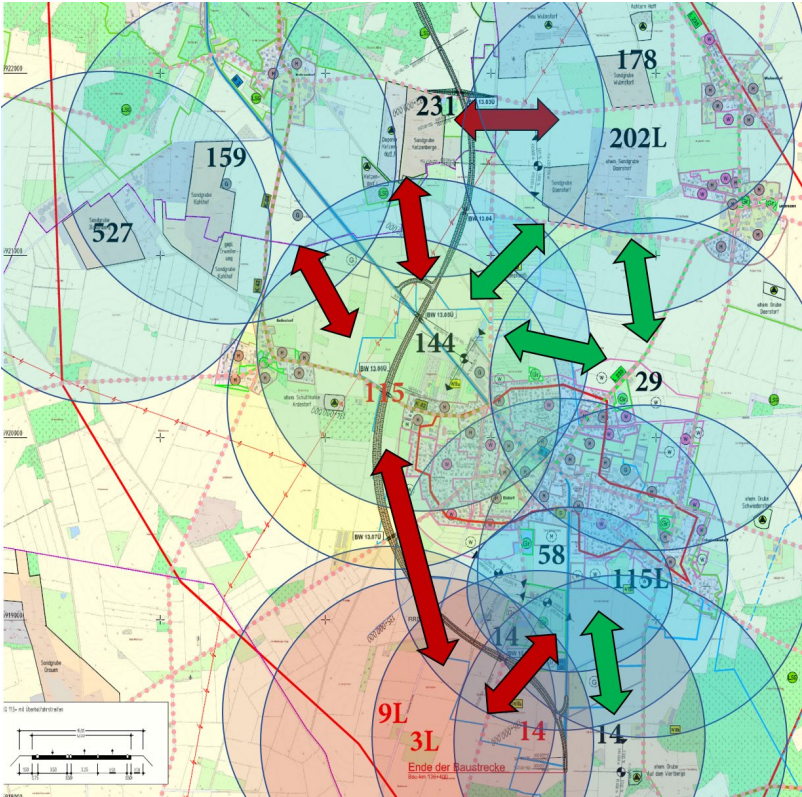


Abbildung 117: Berechnete Populationsgrößen und Einschätzung möglicher Austauschbeziehungen zwischen den Teilpopulationen mit Darstellung eines 1.000 m großen Aktionsradius (eigene Darstellung auf der Grundlage von (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG)). Rote Pfeile = Trennwirkung, grüne Pfeile = möglicher Austausch zwischen Teilpopulationen.





*Abbildung 118: Feedback-Loop-Diagramm der Auswirkungen des Vorhabens auf den Laubfrosch (eigene Darstellung).*

Daher soll die Populationsdynamik in der Simulation näher untersucht werden (vgl. Abschnitt 6.8.3).

## 6.8.2 Teilmodell Verkehr im System *SuL* der OU Elstorf

Die abgetrennte Teilpopulation des Laubfrosches südlich von Elstorf ist durch die folgenden Faktoren gefährdet:

- Barrierewirkung
- Flächenverluste
- Kollisionen infolge des Verkehrs

Die Dynamik der Straße als Barriere und der Flächenverluste durch Überbauung bewegen sich in sehr langen Zeiträumen und werden daher im Teilmodell in den folgenden Zuständen berücksichtigt:

- ungestörte Fläche
- gestörte Fläche mit Flächenverlust des Habitats

Die Verluste infolge von Kollisionen mit Fahrzeugen können von der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit abhängen und besitzen zudem eine hohe Dynamik (vgl. Tabelle 42).

Das Feedback-Loop-Diagramm der Auswirkungen des Vorhabens auf den Laubfrosch in Abbildung 118 zeigt einen kausalen Zusammenhang zwischen dem Verkehr auf der OU und Verlusten durch Kollisionen mit Laubfröschen, welche im Jahresverlauf zwischen ihren Teillebensräumen wechseln (vgl. GLANDT 2018). „Nach der Fortpflanzung wandern die Tiere in ihre Sommerlebensräume ab. Diese liegen bis zu mehreren Hundert Metern, manchmal mehr als einen Kilometer, vom Laichgewässer entfernt. Hier leben sie in Hochstauden, Gebüschsäumen und in Bäumen, in denen sie auch in die Kronen bis in über 25 m Höhe hinaufsteigen“ (GLANDT 2018).

Ein Gewässer der abgetrennten Teilpopulation befindet sich nach der Realisierung der OU Elstorf in unmittelbarer Nähe zur Straße. Damit wird auch die Verbindung zu den nördlich und östlich davon liegenden Populationen getrennt (Abbildung 117 sowie Abbildung 124). Ebenso kann die östlich liegende, die alte B 3 begleitende Gehölzgruppe nur noch durch Überwinden der OU erreicht werden. GOLDINGAY & TAYLOR (2006) berichten von Fröschen, welche einerseits Schutzbarrieren aus Metallzäunen und Betonwände überwinden und andererseits die vorhandenen Durchlässe meiden. Man muss daher von Verlusten durch Kollisionen mit Fahrzeugen und vollständigem Abschneiden von Wanderbewegungen ausgehen.

Ein wesentlicher Faktor für das Abschätzen der Verluste sollte die Verkehrsbelastung darstellen. Im Abschnitt liegt diese in einer Größenordnung von 17.200 Kfz/Tag (vgl. NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG). Es ist denkbar, dass durch die im Erläuterungsbericht beschriebene Bündelungswirkung die OU Elstorf noch weiteren Verkehr aufnehmen wird. Dies wird im Rahmen eines überschlägigen Modells überprüft. Das Modell geht von der Annahme aus, dass einige Verkehrsteilnehmer:innen der A 1 mit dem Ziel A 7, nördlich von Hamburg, einen Umweg über die B 3, A 26 und A 20 auf die A 7 in Kauf nehmen, um einen Stau auf der A 7 bei Hamburg zu umgehen (Abbildung 73 und Abbildung 119).



Abbildung 119: Geplanter Verlauf der Nordwestumfahrung Hamburg (Quelle: <https://www.autobahn.de/die-autobahn/projekte/detail/a20-neubau-in-schleswig-holstein#uebersicht>).

Das Modell dient dazu, eine mögliche Zunahme des Verkehrs auf der OU Elstorf infolge der zuvor genannten Vermutung abzuschätzen und eine durchschnittliche Geschwindigkeit auf der OU Elstorf zu ermitteln. Die gewonnenen Daten sollen die Grundlage für die Ermittlung der Auswirkung tödlicher Kollisionen mit dem Laubfrosch bilden. Die Abbildung 120 zeigt das Stocks and Flow Diagramm der OU Elstorf im beschriebenen Kontext.

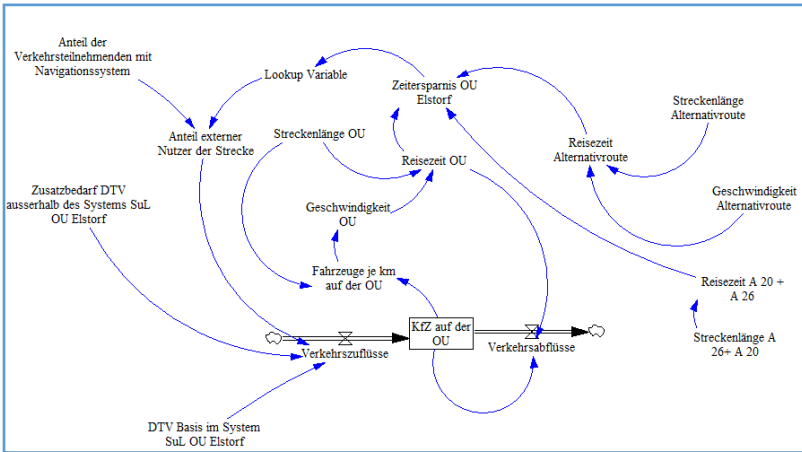


Abbildung 120: Modell für die Prognose des Verkehrsaufkommens und der Fahrgeschwindigkeit der OU Elstorf in einem großräumigen Kontext (eigene Darstellung).

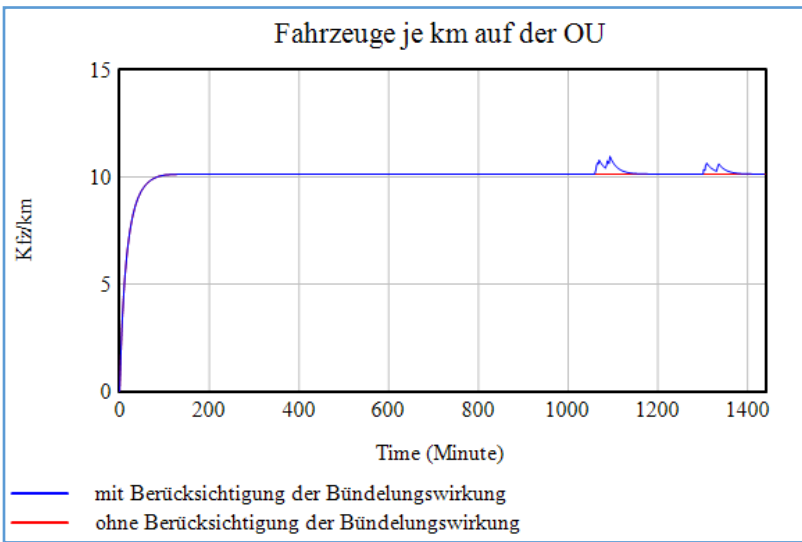


Abbildung 121: Fahrzeuge je Kilometer auf der OU Elstorf (eigene Darstellung).

Im Ergebnis zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen dem Verkehr mit und ohne Berücksichtigung der Bündelungswirkung. Lediglich an einigen Tagen treten kleinere Spitzen auf (Abbildung 121). Ebenso ergibt sich im Modell in beiden Fällen eine Geschwindigkeit knapp unter 70 km/h (Abbildung 122)

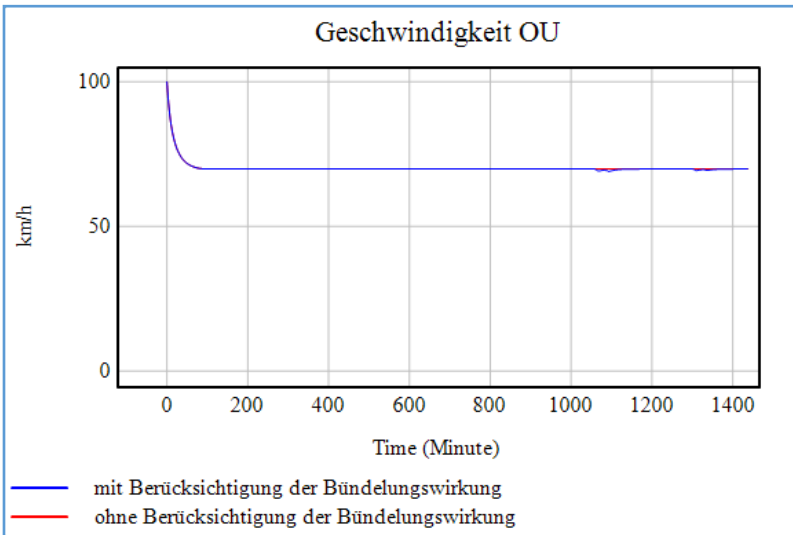


Abbildung 122: Geschwindigkeit auf der OU Elstorf (eigene Darstellung).

Für deren Ermittlung wird mittels LOOKUP in Vensim PLE der Zusammenhang zwischen der Verkehrsdichte und der Geschwindigkeit abgebildet. Aus der Verkehrsdichte und der Geschwindigkeit kann durch über die Formel  $V = \frac{s}{t}$  [m/s], der Fahrzeugbreite sowie einer abgeschätzten Überquerungsgeschwindigkeit der Straße, die Gefahr einer Kollision abgeschätzt werden. Nicht berücksichtigt wurde die Tageszeit der Wanderung mit der zugehörigen konkreten Verkehrsstärke. Daraus wird ersichtlich, dass die Verkehrsdichte einen deutlich größe-

ren Einfluss hat als die Geschwindigkeit und dass man von einem Totalverlust ausgehen kann. Es wird daher auf eine detaillierte Darstellung der Parameter verzichtet.

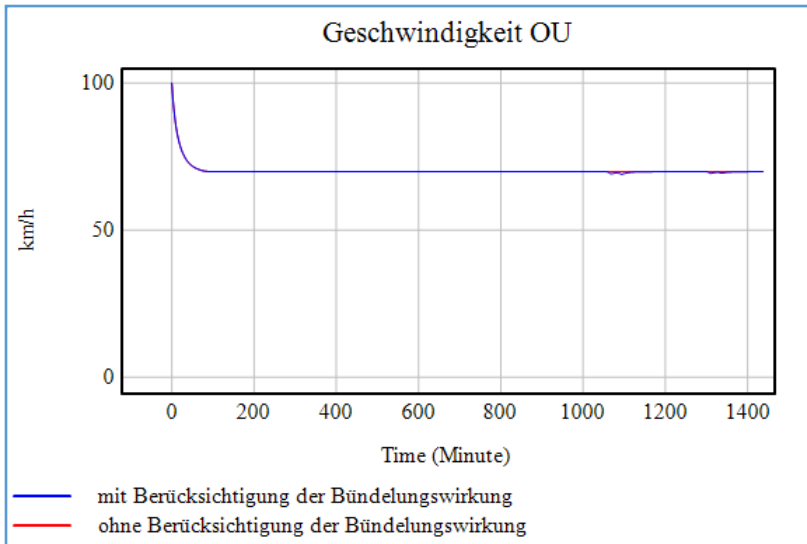


Abbildung 123: Geschwindigkeit auf der OU Elstorf (eigene Darstellung).

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass die Amphibien nicht nur durch das Überrollen der Fahrzeugreifen, sondern auch durch die vom Fahrzeug ausgehende Druckwelle getötet werden (vgl. ANDREWS & JOCHIMSEN 2007). Die Frösche müssen daher bei der Überquerung der Straße mindestens die Strecke einer Fahrzeugbreite überwinden, und dies in dem Zeitraum zwischen zwei Fahrzeugen. Nicht berücksichtigt wurde zudem ein mögliches Verharren der Laubfrösche auf dem Straßenbelag.

Parameter der störenden Flussgröße

Um die Auswirkungen des Straßenverkehrs auf die Population des Laubfrosches im Lebensraum der abgetrennten Teilpopulation zu si-

mulieren, werden als störende Flussgrößen die Abflüsse **Verlust Juvenile durch Kollision, Verlust Adulte durch Kollision** sowie die Zustandsgröße **Wanderungen** im Populationsmodell zugefügt (vgl. Abschnitt 6.8.3).

Die Reduzierung der Fläche des Habitats wird als Verhältnis der gelb markierten Kreisabschnitte zu den Vollkreisen mit etwa 40 % angenommen. In der Simulation wird die Habitatgröße als dimensionslose Zahl 100 festgelegt. Der Verlust der Habitatfläche um 40 % reduziert diese Zahl auf 60.

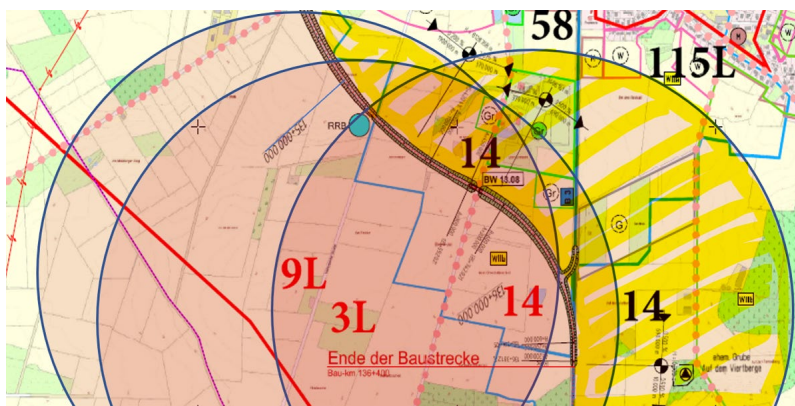


Abbildung 124: Verlust der Habitatfläche (gelbe Markierung) infolge der Barrierewirkung der Straße (eigene Darstellung).

Es wird angenommen, dass im Zuge der Wanderungen zwei Überquerungen der OU pro Jahr notwendig werden, und dies nur in dem in Abbildung 124 gezeigten Bereich.

Da Laubfrösche im Verlauf des Jahres zwischen den Teillebensräumen wechseln und etwa 40 % der Habitatfläche durch das Straßenbauwerk blockiert werden, wird von der Annahme ausgegangen, dass

jährlich 40 % der Exemplare im Jahr versuchen, die Straße zu überqueren. Da von einem Totalverlust ausgegangen wird, gehen die Verluste durch Kollision mit dem Faktor 0,4 in die Simulation ein.

Die zusätzlichen Parameter der störenden Flussgrößen sind im Kasten dargestellt. Es werden **drei Szenarien** unterschieden:

- Population ungestört (Der Faktor wird auf 0 gesetzt),
- Population gestört durch Flächenverlust (reduzierte Habitatfläche),
- Population gestört durch Verkehr (einschließlich störender Flussgröße).

### **Zu- und Abflüsse**

Verlust Juvenile durch Kollisionen=juvenile Laubfrösche\*0.4\*Wanderungen\*2

Verlust Adulte durch Kollisionen=adulte Laubfrösche\*0.4\*Wanderungen\*2

### **Zustandsgrößen**

Wanderungen=PULSE TRAIN(90,36.5,365,3000)

Habitatfläche=60

#### 6.8.3 Teilmodell der abgetrennten Teilpopulation des Laubfroschs südwestlich von Elstorf

Die Population des Laubfrosches wird mit der Software Vensim PLE in einem simulationsfähigen mathematischen Modell abgebildet (vgl. Abschnitt 6.2.3).



Die in Abschnitt 6.7 erläuterten Rückkopplungen werden nicht dargestellt, sind jedoch zu berücksichtigen, da beispielsweise die Auswirkungen auf Natur und Umwelt zu Widerständen von Umweltverbänden führen können.

Es ist denkbar, dass die Population des Laubfrosches infolge der Umsetzung des Vorhabens stabil bleibt oder abnehmen wird. Ebenso ist ein Erlöschen der Population (exponential decay) oder ein Zurückgehen auf ein niedrigeres Niveau (exponential approach) denkbar (Abbildung 125).

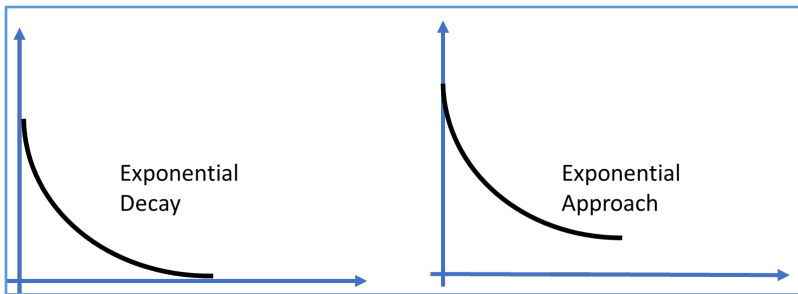


Abbildung 125: Mögliche Szenarien des Rückgangs der abgetrennten Laubfroschpopulation durch die Realisierung der OU Elstorf eigene Abbildung nach (FORD 2010).

Der Bau der OU Elstorf stellt für die Population des Laubfrosches am Gewässer folglich eine mögliche Bifurkationsstelle dar.

Zweck des Modells ist es, das System der Population des Laubfrosches zu verstehen. Danach sollen die Auswirkungen des **Verkehrs** der OU Elstorf auf das System als störende Flussgrößen im Modell implementiert werden, um die Stabilität des Systems zu überprüfen. Zu diesem Zweck wird zunächst ein Populationsmodell ohne Störgrößen entwickelt.

Laubfrösche bewegen sich in jahreszeitlich unterschiedlichen, räumlich meist getrennten Teillebensräumen und entwickeln sich vom Ei zur Larve, um sich zunächst zum juvenilen, nicht geschlechtsreifen,

später zum adulten, geschlechtsreifen Frosch weiterzuentwickeln (Abbildung 126).

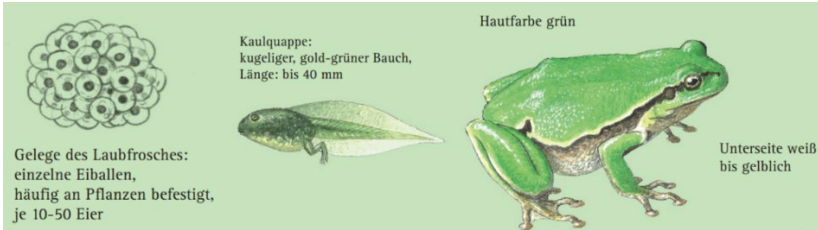


Abbildung 126: Drei der vier Entwicklungsstadien des Laubfrosches (*Hyla arborea*) (BUND 12.04.2022).

Die unterschiedlichen Stadien der Entwicklung werden als Speichergrößen, die Entwicklungszeiträume als Zustandsgrößen eingetragen. Die Abflüsse einer Speichergröße bilden für die darauffolgende Speichergröße die um die Verluste reduzierten Zuflüsse. Der Einfluss der regelnden Größen infolge Nahrungsangebot und Prädatoren wird über die Regulationsverluste abgebildet (Abbildung 127).

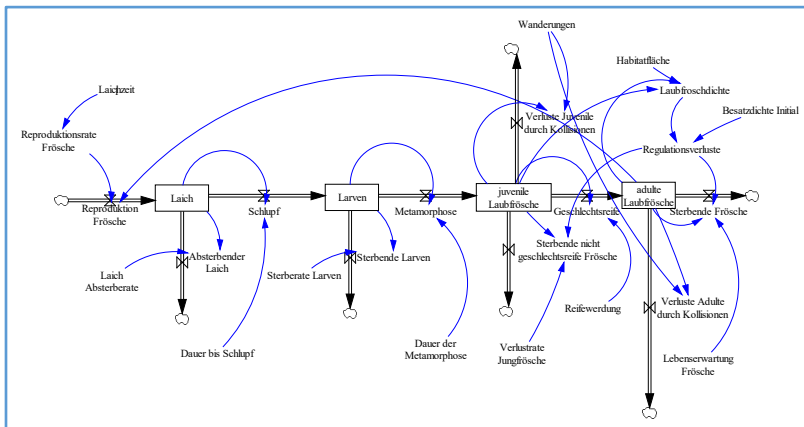


Abbildung 127: Stocks and Flows Diagramm der abgetrennten Laubfroschpopulation (eigene Darstellung).

## Bestimmung der Parameter

Die Bestimmungen der Parameter sind der erste Schritt der quantitativen Modellbildung, da hier der Versuch unternommen wird, die zuvor nur qualitativ beschriebenen Bezüge zwischen einzelnen Größen sowie die Zustände der Speichergrößen mathematisch zu beschreiben. Parameter, welche nicht eindeutig bestimmt werden können, sollen bestmöglich geschätzt werden, wobei deren Einfluss auf das Verhalten des Systems überprüft werden soll (vgl. FORD 2010). Es ist zu berücksichtigen, dass „Populationsuntersuchungen an Laubfröschen [...] nach wie vor mit großen Unsicherheiten behaftet [sind]. Dabei liegen die Ursachen vordergründig im immer noch existierenden Mangel, verlässliche quantitative Bestandsangaben zu erhalten“ (GROSSENBACHER et al. 2012). Die Parameterbestimmung für das Populationsmodell des Laubfrosches erfolgt durch eine theoriebasierte Exploration und der Analyse vorhandener Unterlagen des Vorhabens.

Für die Simulation der Populationsentwicklung werden die folgenden Parameter bestimmt:

- Anzahl der Laubfrösche,
- Reproduktionszahl,
- Dauer von der Eiablage bis zum Schlupf,
- Dauer der Metamorphose,
- Zeitraum zwischen dem Ende der Metamorphose und dem Beginn der Geschlechtsreife,
- Sterblichkeit.

Die Anzahl der Laubfrösche als Anfangswert der Speichergröße **adulte Laubfrösche** kann zunächst aus der faunistischen Untersuchung entnommen werden. Sie wird dort mit fünf Rufern benannt. Dies zeigt jedoch nur die Anzahl männlicher Exemplare. GROSSENBACHER et al. (2012) verweisen auf den Zusammenhang zwischen den erfassten Rufern und der tatsächlichen männlichen Population auf STUMPEL (1987), welcher dazu die Näherungsformel  $Y = 1.73 \times$  entwickelt hat,

wobei x für die Anzahl erfasster und y für die Anzahl tatsächlicher Exemplare stehen.

GRAFE & MEUCHE (2005) drücken denselben Zusammenhang durch die Formel  $Y = 5,25x - 72,45$  aus.

Setzt man die Anzahl der erfassten Rufere in die beiden Formeln ein, so erhält man nach STUMPEL (1987) 15,57 (abgerundet auf 15) männliche Exemplare. Nach (GRAFE & MEUCHE 2005) erhält man ein negatives Ergebnis an Exemplaren, so dass diese Formel bei kleinen Populationen nicht geeignet scheint.

Der Anteil der Weibchen an der Gesamtpopulation beträgt etwa 40 % (TESTER 1990). Daraus lässt sich der rechnerische **Gesamtbestand der Teilpopulation mit 25 Exemplare** ermitteln.

Weibchen legen „zwischen 470 und 1433 (im Mittel 747,8)“ Eier (MORAVEC 1989, GROSSENBACHER et al. 2012). GLANDT (2018) schätzt die Maximalzahl auf 1400 Eier. Es ist zu beachten, dass „Laubfrösche [...] pro Jahr nur einmal [laichen]“ (GROSSENBACHER et al. 2012). Die Angaben aus der Literatur zeigen hinsichtlich der Maximalzahl an Eiern keine signifikante Abweichung. Der **Parameter Reproduktionszahl** wird in Vensim PLE als Zufallsfunktion mit dem Mittelwert 748 und den Minimal- und Maximalwerten 470 bzw. 1433 festgelegt. Teilt man diese Werte durch 365 Tage, erhält man die Werte 1,29 (Minimalwert), 2,05 (Mittelwert) und 3,93 (Maximalwert). Die Laichzeit wird mit 1/10 des Jahres auf der Grundlage abweichender Angaben in der Literatur abgeschätzt. Die Laichzeit ist mit 36,5 Tagen festgelegt und kann in der Praxis abweichen. Dies hat auf das Ergebnis der Simulation keinen signifikanten Einfluss, da die Gesamtmenge der Eier gleichbleibt. Die jährlichen Laichzeitpunkte werden über die PULSE-Funktion realisiert, um in der Ergebnisdarstellung den Jahresverlauf besser zu visualisieren.

Die Dauer von der Eiablage bis zum **Schlupf der Larven** beträgt „[u]nter natürlichen Bedingungen [...] 6-9 Tage nach der Eiablage“

(STUMPEL 1986). In Vensim PLE werden diese Grenzwerte übernommen und 7,5 Tage als Mittelwert einer Zufallsfunktion festgelegt.

Die **Metamorphose** kann, in Abhängigkeit „von der Temperatur, der Nahrung und dem Licht [...die] große Spanne von 47-90 Tagen auf[weisen]“ (TESTER 1990). GROSSENBACHER et al. (2012) benennen zusätzlich die Besatzdichte, Stressfaktoren und die Qualität der Nahrung als Einflussfaktoren. Im Rahmen der Modellbildung sind diese die Dauer beeinflussenden Faktoren nicht ohne enormen Aufwand darstellbar. Deshalb werden die Werte als Zufallsfunktion mit den genannten Grenzwerten und dem Mittelwert 70 genutzt.

Der Zeitraum zwischen dem Ende der Metamorphose und dem **Beginn der Geschlechtsreife** wird zwischen einem und vier Jahren angegeben (vgl. GROSSENBACHER et al. 2012). (SCHMIDT et al. 2015) verweisen darauf, dass dies beispielsweise eine Strategie sein kann, um dem Risiko des Austrocknens temporärer Gewässer zu begegnen. Im Modell wird dies durch eine Zufallsfunktion ausgedrückt. Da es sich bei den untersuchten Gewässern um dauerhafte Gewässer handelt, wird der Mittelwert bei 2 Jahren angesetzt. Die Auswirkungen dieser Annahme werden im Rahmen der Sensitivitätsanalyse betrachtet.

Besonders schwierig ist es, Belege für die die **Sterblichkeit** in den einzelnen Stadien zu finden. Populationen können sowohl bottom-up von der Verfügbarkeit der Nahrung als auch top-down von Prädatoren geregelt werden (vgl. CARROLL 2017). Die **Nahrung** der Laubfrösche besteht aus „Insekten (Fliegen, Käfer, Zikaden, Blattläuse, Springschwänze) und Spinnen, daneben Gehäuseschnecken“ (vgl. GLANDT 2018). Bemerkenswert ist, dass sich die Beute von Juvenilen und Adulten unterscheidet (GROSSENBACHER et al. 2012). Auf eine nähere Analyse des Beutevorkommens wird im Rahmen der Case Study verzichtet, da dies den Umfang der Arbeit unverhältnismäßig vergrößern würde.

Zu den Feinden des Laubfrosches gehören „Neuntöter, Eulen, verschiedene Reiherarten und die Ringelnatter“ (GLANDT 2018). Bei Gewässern mit Fischbesatz werden die Larven von diesen erbeutet – aber auch einige Raubinsekten nutzen die Larven als Nahrungsquelle (vgl. GLANDT 2018, GROSSENBACHER et al. 2012). A. KWET (1996) beziffert die Sterblichkeit in den Stadien **Ei** und **Larve** mit **80-100 %**. Im Modell wird die Sterblichkeit dieser Speichergrößen mathematisch durch Faktoren je Zeiteinheit ausgedrückt, welche in Abhängigkeit von der Laichdauer zu den o.g. Sterblichkeiten führen. Bei juvenilen und adulten **Grasfröschen** geht A. KWET (1996) von einer jährlichen Sterblichkeit von 30-50 % aus. Es ist fraglich, inwiefern diese Werte auf den Laubfrosch übertragbar sind. Laubfrösche können ein Alter von bis zu 5 Jahren erreichen, wobei der Altersdurchschnitt bei den Weibchen 3,1 Jahre, bei den Männchen 2,5 Jahre beträgt. Daraus kann eine durchschnittliche Sterberate für die Simulation ermittelt werden.

Hinzu kommen Zu- und Abwanderungen, insbesondere juveniler Exemplare, in andere Lebensräume (vgl. GLANDT 2018). Hier kann man jedoch annehmen, dass sich dies ausgleicht.

Um regulativen Faktoren der Begrenzung des Nahrungsangebotes, der Besatzdichte und des Einflusses von Prädatoren zu berücksichtigen, werden zunächst die bekannten Parameter im Modell berücksichtigt und die unsicheren Parameter angepasst, bis mittelfristig eine stabile Population in der Simulation entsteht. Diese bildet die Basis für das Einbringen von Störgrößen zur Überprüfung der Systemstabilität. Der nachstehende Kasten zeigt die Modellparameter sowie die Parameter der Speichergrößen, Zu- und Abflüsse:

### **Model Settings**

INITIAL TIME=3000

TIME STEP=1

Units for time: Day

### **Speichergrößen**

Laich=Reproduktion Frösche-Absterbender Laich-Schlupf; Initial Value=0

Larven= Schlupf-Metamorphose-Sterbende Larven; Initial Value=0

Juvenile Laubfrösche= Metamorphose-Geschlechtsreife-Sterbende nicht geschlechtsreife Frösche; Initial Value=0

Adulte Laubfrösche= Geschlechtsreife-Sterbende Frösche; Initial Value=25

### **Zu- und Abflüsse**

Reproduktion Frösche= Reproduktionsrate Frösche\*adulte Laubfrösche\*0.4

Absterbender Laich= Laich\*Laich Absterberate

Schlupf= Laich/Dauer bis Schlupf

Sterbende Larven= Larven\*Sterberate Larven

Metamorphose= Larven/Dauer der Metamorphose

Sterbende nicht geschlechtsreife Frösche= juvenile Laubfrösche\*Verlustrate Jungfrösche

Geschlechtsreife= juvenile Laubfrösche/Reifewerdung

Sterbende Frösche= (adulte Laubfrösche/Lebenserwartung Frösche)+adulte Laubfrösche\*Regulationsverluste

Der nachstehende Kasten zeigt die Parameter der Zustandsgrößen.

### **Parameter der Zustandsgrößen**

Laichzeit 1= PULSE(100,36.5)

*Hinweis: Die Laichzeiten 2-8 wurden analog eingegeben, jeweils 365 Tage später*

Reproduktionsrate Frösche= RANDOM PINK NOISE(2.05,0.7,10,0)\*Laichzeit

Laich Absterberate=0.2

Dauer bis Schlupf= RANDOM NORMAL(6,9,7.5,1,0)

Sterberate Larven=0.05

Dauer der Metamorphose= RANDOM NORMAL(47,90,70,10,0)

Verlustrate Jungfrösche= 0.0015

Reifewerdung= RANDOM NORMAL(365,1460,730,500,0)

Lebenserwartung Frösche= RANDOM NORMAL(1022,1643,1322,500,0)

Habitatfläche=100

*Anmerkung: Habitatfläche als dimensionslose Zahl*

Laubfroschdichte= (adulte Laubfrösche+juvenile Laubfrösche)/Habitatfläche

Besatzdichte Initial=0.15

Regulationsverluste= Laubfroschdichte/Besatzdichte Initial

Hinweis: Regulationsverluste wird als LOOKUP erstellt. Je höher der Besatz, desto höher sind die Verluste infolge Räuber oder Nahrungsknappheit infolge der Dichte

LOOKUP: ([[0,0)-(7,1)],(0,0.0001),(1,0.0001),(2,0.014),(3,0.18),(5,0.9) )





Die Populationsdynamik **juveniler Laubfrösche** zeigt ein zu den adulten Laubfröschen vergleichbares Verhalten (Abbildung 130). Der große Sprung zu Beginn in allen Szenarien lässt sich durch den Initialwert 0 erklären, während als Initialwert bei den Adulten 25 festgelegt ist. Das tatsächliche Verhältnis adulter zu juvenilen Laubfröschen ist aus den Unterlagen der UVS nicht ersichtlich. Ein möglicher Einfluss der Verteilung wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse überprüft.

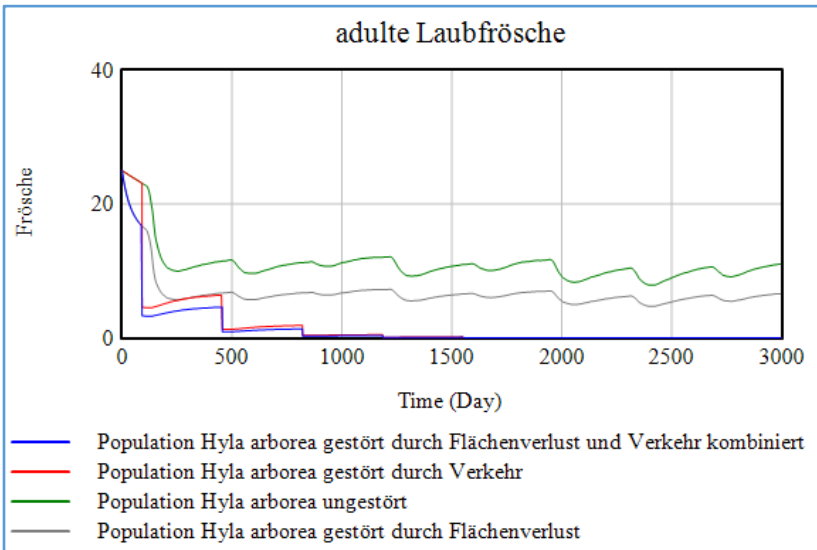


Abbildung 129: Simulationsergebnis Population adulter Laubfrösche (eigene Darstellung).

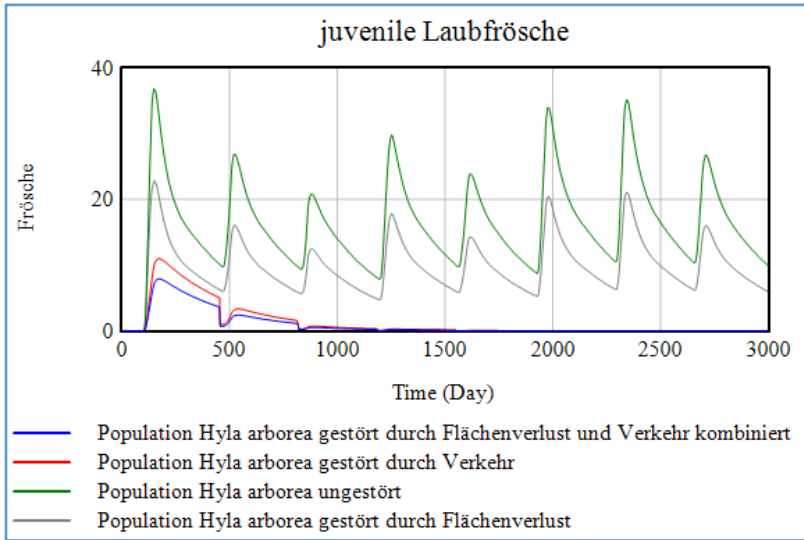


Abbildung 130: Simulationsergebnis Population juveniler Laubfrösche (eigene Darstellung).

Auch die Simulation der Populationsdynamik von Larven und Laich zeigt, dass durch die Flächenverluste ein Rückgang, bei dem Ereignis *Population gestört durch Verkehr* ein **Zusammenbruch** der Populationen erfolgt, welcher durch Überlagerung des Flächenverlustes mit Verkehr verstärkt wird (Abbildung 131 und Abbildung 132).

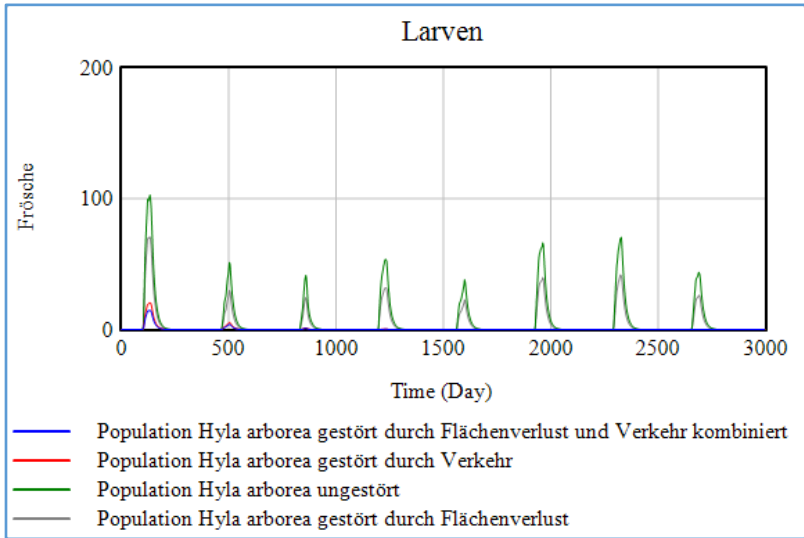


Abbildung 131: Simulationsergebnis Population Larven (eigene Darstellung).

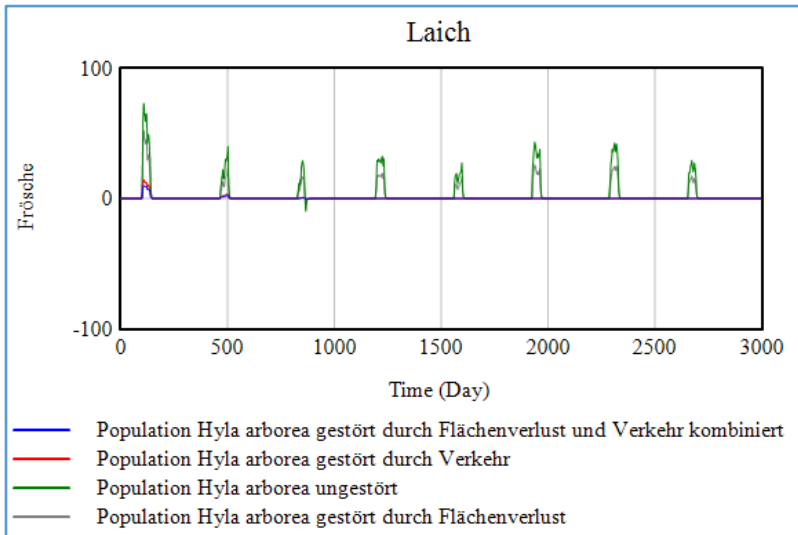


Abbildung 132: Simulationsergebnis Population Laich (eigene Darstellung).

#### 6.8.4 Sensitivitätsanalyse

In mehreren Simulationsläufen wird die **Sensitivität unsicherer Werte** überprüft. Dies geschieht bereits durch die Eingabe der Parameter als Zufallsfunktionen in ihrer jeweiligen vollen Schwankungsbreite, z.B. Dauer bis Schlupf, Dauer der Metamorphose, Reifewerdung und Lebensdauer Frösche. Die Ergebnisse in der Simulation mit ihren jeweiligen Schwankungen sind in Abbildung 133 als Dauer (in Tagen auf der Ordinate) über die gesamte Simulationsdauer (in Tagen auf der Abszisse) dargestellt.

Nach zahlreichen Simulationsläufen kann festgestellt werden, dass sich die Ausgabewerte der Populationen, trotz der Zufallsfunktionen, in einem stabilen Bereich bewegen und keine signifikanten Unterschiede zu erkennen sind.

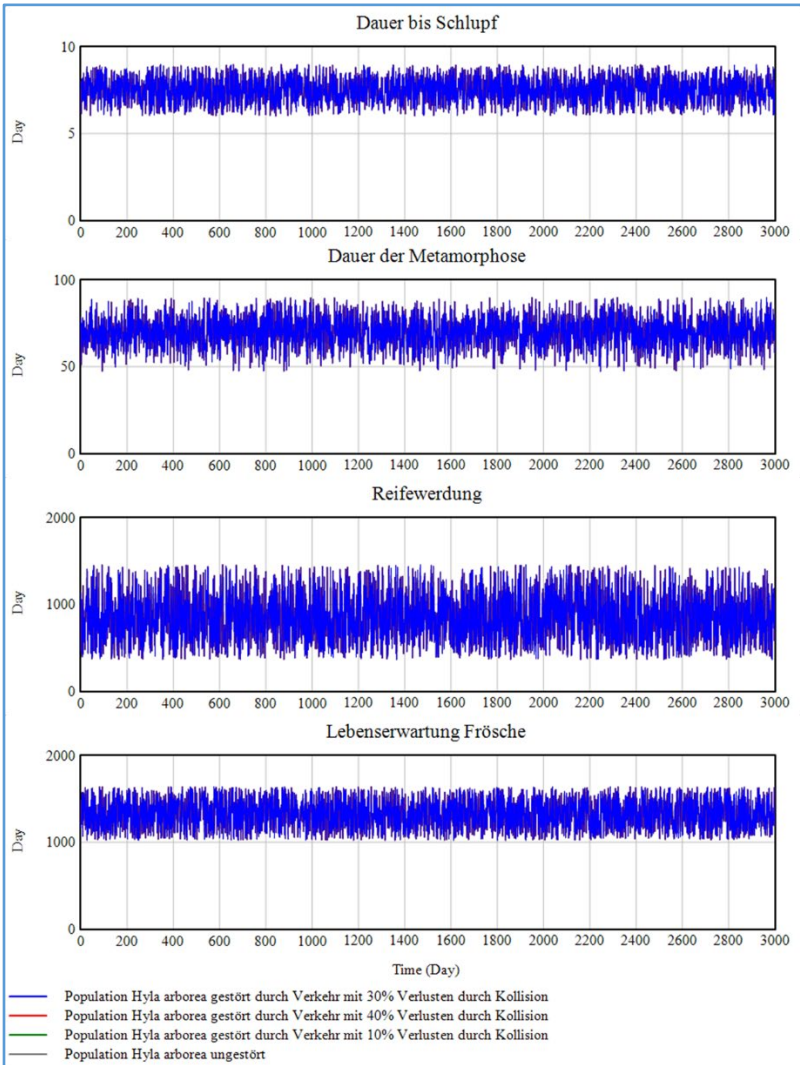


Abbildung 133: Werte der Zustandsgrößen mit Zufallsfunktion (eigene Abbildung).

Die **Restfläche des Habitats** der abgetrennten Teilpopulation kann als maßgebliche Größe für das Überleben des Laubfrosches angesehen werden. Für die Sensitivitätsanalyse muss davon ausgegangen werden, dass im Falle einer massiven Reduzierung der Fläche (Abbildung 124) auch die Population deutlich zurückgeht. In der Simulation wird dies über die Besatzdichte und die Regulationsverluste geregelt. Das Ergebnis der Simulation ist in Abbildung 134 dargestellt und entspricht dem erwarteten Ergebnis: ein massiver Rückgang der Population am Beispiel adulter Laubfrösche. Allerdings ist zu erwähnen, dass die Variable Habitatgröße eine dimensionslose Zahl darstellt. Es ist daher zu empfehlen, im Rahmen der Folgeforschung diesen Zusammenhang tiefergehender zu simulieren.

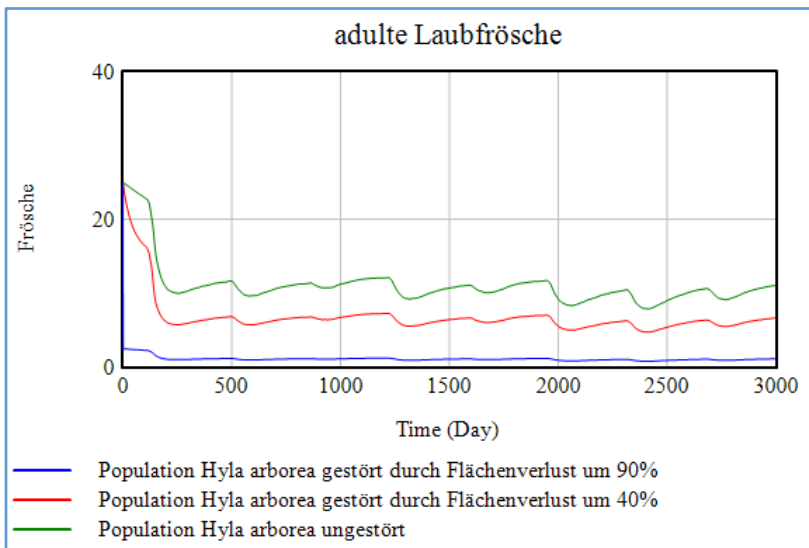


Abbildung 134: Simulation eines Flächenverlustes auf 10 % des Ursprungswertes (eigene Darstellung).

Das **Szenario Verkehr** basiert auf einer Schätzung. Die Verluste werden der Annahme nach bis zu 40 % betragen. Die Sensitivität der Veränderungen der Verlustrate infolge von Straßenüberquerungen wird

in Kombination mit den Flächenverlusten betrachtet, da Verkehr nur stattfindet, wenn auch die Straße existiert. Die Ergebnisse werden, um den Datensatz der ungestörten Population ergänzt, in Abbildung 135 gezeigt. Es ist erkennbar, dass die ohnehin kleine Teilpopulation des Laubfrosches bereits deutlich vom unmittelbaren Flächenverlust betroffen ist. Je höher die Verluste im Straßenverkehr sind, desto instabiler wird die Population. Ab einer Verlustrate von 40 % bricht die Population zusammen, aber auch bei 20 % Verlusten ist diese bereits deutlich geschwächt. Auch hier könnte ein breiter angelegtes Forschungsvorhaben ansetzen, um die Simulation von Verlusten durch Kollision auf eine datengestützte Basis zu bringen.

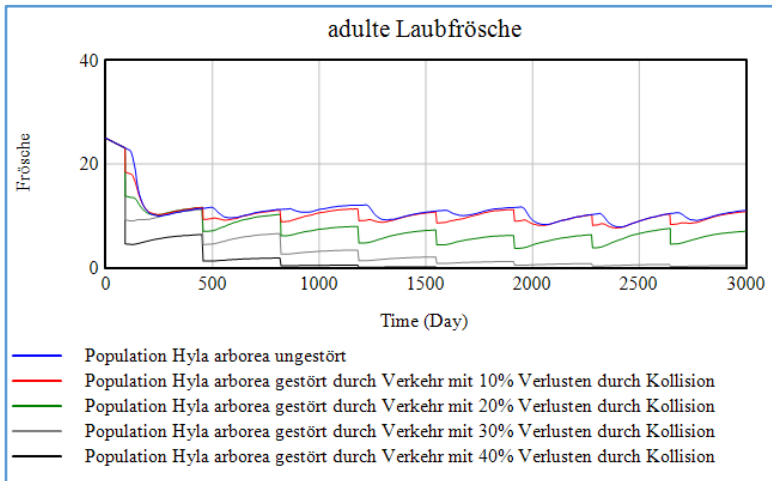


Abbildung 135: Sensitivität der Population infolge des Verkehrs (eigene Darstellung).

Bei der Eingabe der initialen Werte für adulte und juvenile Laubfrösche wurden die Bestände den Adulten zugeordnet. Fraglich ist jedoch, ob es tatsächlich keine Juvenile gab. In der Simulation führt dies gerade bei den Juvenilen zu dem genannten anfänglichen Sprung in der Populationszahl. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird daher geprüft, wie sich die Population verhält, wenn die Zuordnung zu den Juvenilen



erfolgt. Es zeigt sich, dass sich nach anfänglichen geringen Abweichungen, nach kurzer Zeit identische Werte einstellen. Folglich kann dieser Sachverhalt vernachlässigt werden.

#### 6.8.5 Policy Test

Neben der Betrachtung unsicherer Variablen durch die Sensitivitätsanalyse richten die Policy Tests den Blick auf diejenigen Variablen, die geeignet erscheinen das **Verhalten** des Systems zu **verändern**. Es wurde bereits ausgeführt, dass die Population des Laubfrosches u.a. vom Austausch zwischen den Laichgewässern, dem Lebensraum sowie den Kollisionen im Straßenverkehr abhängig ist.

Im Rahmen der Policy Tests werden die folgenden Maßnahmen geprüft:

- Schutzmaßnahmen am Straßenbauwerk
- Fördern der Austauschbeziehungen zwischen den Gewässern

#### Schutzmaßnahmen am Straßenbauwerk

Durch geeignete Maßnahmen am Straßenbauwerk kann „die Vernetzung der Populationen in der Landschaft“ (GLANDT 2018) gefördert werden. Amphibientunnel oder Grünbrücken werden nach GLANDT (2018) von bis zu 70 % der Exemplare angenommen. Daraus lässt sich wiederum abschätzen, dass die in der Simulation angenommenen 40 % Verluste, infolge Straßenverkehrs um 70 % auf 12 % reduziert werden können. In Abbildung 136 sind die Unterschiede zwischen einer ungestörten Population und der durch Flächenverlust und Verkehrsverlusten (alternativ mit 12 % bzw. 40 % Verlusten) dargestellt.

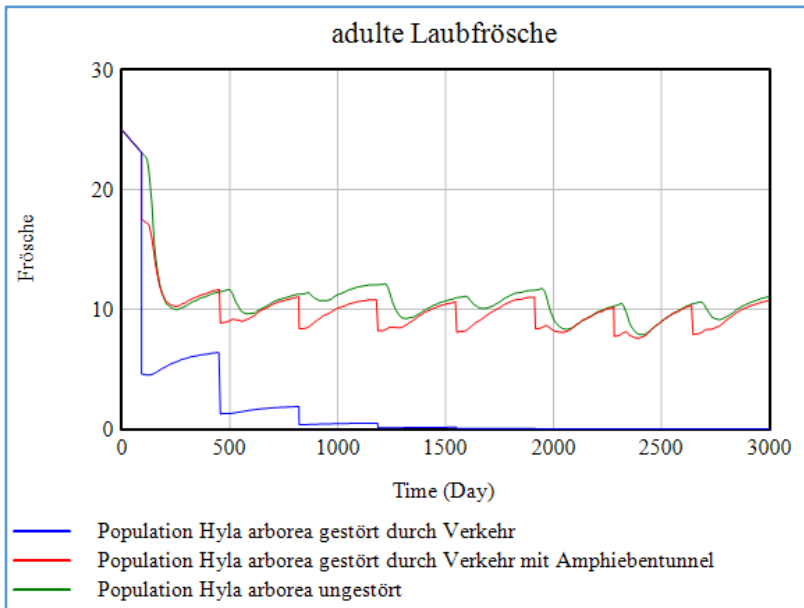


Abbildung 136: Policy Test Bau eines Amphibientunnels (eigene Darstellung).

Daraus kann gefolgert werden, dass der Bau eines Amphibientunnels die Auswirkungen des Vorhabens im Modell reduziert. Allerdings werden durch diese Maßnahmen die Auswirkungen nicht gänzlich verhindert, sondern die Population bewegt sich auf einem niedrigeren Niveau.

Zudem ist zu beachten, dass Laubfrösche sehr gute Kletterfähigkeiten besitzen und daher die Schutzmaßnahmen an Straßenbauwerken leicht überwinden können. Ebenso gelingt es ihnen, aus Fangheimern zu klettern (vgl. GLANDT 2018). Daher ist es fraglich, inwiefern diese Maßnahmen einen nennenswerten Beitrag zum Erhalt der abgetrennten Teilpopulation leisten können.

Es ist, gerade bei kleinen Populationen, sicherlich sinnvoll, den Blick vom Einzelgewässer hin zu Metapopulationen zu richten. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die Populationen eine Dynamik besitzen

und sich auf einem sehr niedrigen quantitativen Niveau bewegen. Mit hin kann ein Austausch zwischen den Laichgewässern das Risiko für den Zusammenbruch der Metapopulation verringern. Durch den Wegfall der verbindenden Teilpopulation nordwestlich von Elstorf durch Überbauung ist ein Austausch zwischen der abgetrennten Teilpopulation mit den größeren Populationen nordwestlich und nordöstlich von Elstorf unterbunden.

#### Fördern der Austauschbeziehungen zwischen den Gewässern

Amphibien wechseln zwischen Teillebensräumen innerhalb ihres Jahreslebensraumes hin und her. Der Laubfrosch legt dabei Strecken von bis zu 1000 m zurück – nur in Einzelfällen wird dieser Wert, dann aber auch deutlich, überschritten. Die Wechsel zwischen den Teillebensräumen dienen der Eiablage, der Nahrungssuche, der Ruhe, der Überwinterung oder dem Überdauern von Trockenperioden. Ebenso dient die Wanderung dem Erschließen neuer Lebensräume, um die Art zu verbreiten oder den genetischen Austausch zu fördern (vgl. GLANDT 2018). Die Simulationsergebnisse zeigen, dass sich die Populationsgrößen bereits auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und dass durch die Flächenverluste, in Kombination mit den Verlusten durch den Straßenverkehr, die Population stark abnimmt oder zusammenbricht. Hinzu kommt die von SCHMIDT (2011) beschriebene jährliche Fluktuation der Bestandsgröße. Er führt aus, dass „[e]ine Veränderung bei der Überlebenswahrscheinlichkeit der Juvenilen [...] einen stärkeren Einfluss auf die Populationsdynamik [hat] als eine gleich große Veränderung bei der Überlebenswahrscheinlichkeit der Adulten oder Larven“ (SCHMIDT 2011).

Damit bietet der Lebensraum mit seiner Vernetzung einen Hebel, um die dauerhafte Extinktion zu verhindern. Es ist sicherlich denkbar und sinnvoll, im Bereich südlich und westlich von Elstorf weitere Biotopflächen zu schaffen und über geeignete Maßnahmen einen Verbund zu den größeren Beständen nördlich von Elstorf herzustellen oder zu stärken.

### 6.8.6 Diskussion und Zwischenfazit

Die Simulation der Population der abgetrennten Teilpopulation des Laubfrosches weist auf eine sehr starke Gefährdung durch die Umsetzung des Vorhabens OU Elstorf hin, da durch die Kombination aus dem Verlust der Habitatfläche i.V.m. den Verlusten durch Kollisionen der Bestand nach wenigen Jahren verloren geht. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen jedoch auch, dass der konkrete Einfluss der Variablen Verkehr sowie die Habitatfläche mit großen Unsicherheiten behaftet ist, insbesondere da der Frosch nicht stationär in seinem Laichhabitat verweilt, sondern sich zwischen wechselnden Jahreslebensräumen bewegt (vgl. Konzept der Metapopulation in Abschnitt 6.8.1). Daher tauschen sich einzelne Individuen zwischen den Teilpopulationen aus oder besiedeln neue Habitate. Diese Wanderbewegung wird für die abgetrennte Teilpopulation eingeschränkt oder unterbunden.

Das Simulationsergebnis kann daher Hinweise auf ein tendenzielles Systemverhalten liefern. Es ist erkennbar, dass durch das Vorhaben Lebensräume für den Laubfrosch im Untersuchungsgebiet verlorengehen. Ebenso ist ersichtlich, dass sich die Population, infolge des Verkehrs, entweder auf einem niedrigeren Niveau stabilisiert oder zusammenbricht.

Es handelt sich daher um eine **Bifurkationsstelle** im System **SuL** der OU Elstorf, welche durch eine lineare Vorgehensweise nicht erkennbar ist. Die Methode kann eine Hilfestellung bieten, um in kritischen Bereichen die Auswirkungen besser abschätzen zu können.

Allerdings wird durch die Simulation die Stellung und Bedeutung der Art *Hyla arborea* im gesamten Ökosystem nicht erkennbar. Dies wird auch in der UVS nicht vermittelt. Es herrscht auch mit der Simulation keine Klarheit darüber, welche Auswirkungen ein Zusammenbruch der Population auf die Art selbst sowie möglicherweise für andere Arten hat, da die Querbezüge zwischen den einzelnen Arten in der UVS nicht dargestellt werden können.

Der bereits in der UVS benannte Zusammenhang zwischen Verkehr und Population wird bestätigt. Erst infolge der dynamischen Simulation, ergänzt durch weitere Berechnungen, kann auch aufgezeigt werden, dass der Verkehr auf der OU Elstorf eine Größenordnung erreicht, welche bei den überquerenden Laubfröschen zu einem Totalverlust führen wird. Dies stellt einen **Attraktor** im System dar. Dies ist ohne eine Modellbildung und Simulation schwerlich nachweisbar.

Dennoch dürfen die Ergebnisse nicht darüber hinwegtäuschen, dass Modelle Vereinfachungen des betrachteten Systems sind. Durch Vereinfachungen werden einige Bestandteile und Faktoren des tatsächlichen Betrachtungsgegenstands nicht berücksichtigt und dies kann dazu führen, dass das Modell von Akteur:innen als nicht vollständig oder als ungültig angesehen wird (vgl. FORD 2010).

Ebenso ist eine Validierung des Modells nicht möglich. Nach FORD (2010) ist die richtige Frage jedoch nicht jene nach der Validität, sondern nach der **Nützlichkeit**. Der Nutzen der Methode liegt darin, Attraktoren und Bifurkationsstellen zu erkennen, um diese im Planungs- und Abwägungsprozess zu berücksichtigen.

#### 6.8.7 Rekombination des Teilmodells Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfrosches und Zwischenfazit

In der Simulation wurden einige Parameter geschätzt oder mittels einer Zufallsfunktion implementiert. Damit ist im konkreten Fall keine Entscheidung unter Sicherheit möglich. Dennoch helfen die Erkenntnisse aus der Simulation den Entscheider:innen, sich im untersuchten Teilbereich bessere Urteile über die Folgen ihres planerischen Handelns bilden zu können.

## Rekomposition des Teilmodells

Das Teilmodell *Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfrosches* wird rekonponiert. Dies bedeutet, dass das übergeordnete qualitative Modell vor dem Lichte der in der Simulation gewonnenen Erkenntnisse betrachtet wird (Abbildung 114). Abbildung 137 verweist auf die Positionen der Variablen des Teilmodells innerhalb des qualitativen Modells von SuL der OU Elstorf.

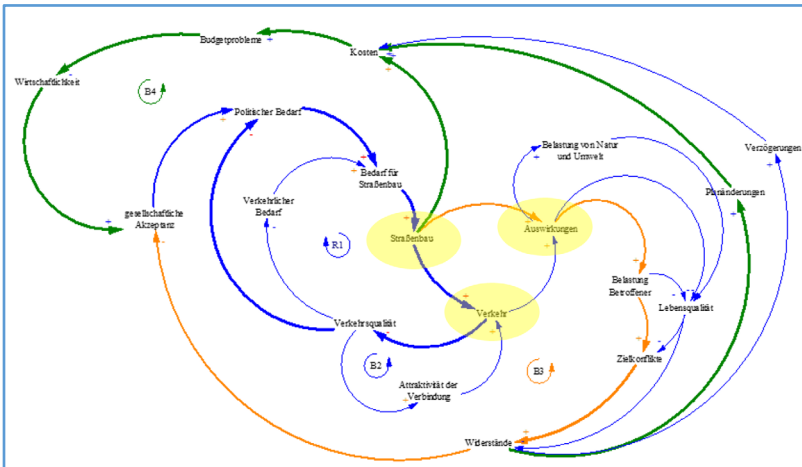


Abbildung 137: Variablen des Teilmodells *Auswirkungen des Straßenbaus auf die Population des Laubfrosches* (gelb markiert) innerhalb des qualitativen Modells von SuL der OU Elstorf (eigene Darstellung).

Das Risiko der **Extinktion** der **abgetrennten Teilpopulation** des Laubfrosches könnte über die Variablen **Belastung der Umwelt** und **Widerstände** zu notwendigen **Planänderungen** führen. Dies könnte höhere **Kosten** verursachen.

Ungeklärt ist in diesem Zusammenhang, inwiefern das Erlöschen der Teilpopulation zu einer tatsächlichen Verschlechterung der **Lebensqualität** der Menschen oder zu einer **Belastung Betroffener** führen wird. Hier könnten weitere quantitative Simulationen ansetzen, um

das Wissen über die Umstände der Entscheider:innen zu erhöhen (vgl. Abschnitt 4.7). Dennoch ist es denkbar, dass die Ergebnisse der Simulation die Akteur:innen im *P-System* dazu veranlassen, Schutzmaßnahmen in die Planung zu integrieren, beispielsweise durch die Berücksichtigung von **Amphibiendurchlässen** in Kombination mit Schutzzäunen (vgl. GLANDT 2018).

Werden keine Planänderungen vorgenommen, könnte dies zu **Konflikten** mit anerkannten Umweltverbänden führen, die ggf. gerichtlich ausgetragen werden (vgl. Abschnitt 4.1). Dies führt zu **zeitlichen Verzögerungen** und in der Folge zu höheren **Kosten**. Wegen der in Abschnitt 5.5.9 genannten zeitlichen Abhängigkeit von Aufwand und Beeinflussbarkeit des Systemverhaltens können diese Kosten deutlich höher ausfallen als bei einer frühzeitigen Berücksichtigung in der Planungsstufe der Vorplanung (vgl. MACLEAMY 2020).

Werden die Kosten zu hoch, dann sinkt die **gesellschaftliche Akzeptanz**. Dies kann den politischen Willen für den Ausbau des konkreten Projektes, oder von Infrastrukturprojekten allgemein senken.

Die überschlägige Simulation des **Verkehrs** auf der OU Elstorf zeigt, dass es vermutlich nicht zu einem nennenswerten Mehrverkehr infolge der Bündelungswirkung kommen wird. Ein Bedarf für einen weiteren Ausbau der Strecke kann demgemäß in der Simulation nicht dargestellt werden (vgl. Abschnitt 6.8.2). Dennoch ist es denkbar, dass die in Abschnitt 6.7.2 erwähnte Lichtsignalanlage südlich von Elstorf zu einem **Rückstau** und damit verbunden zu einer verminderten **Lebensqualität** der Einwohner:innen führt. Dies könnte einen weiteren Ausbau der Strecke südlich von Elstorf erforderlich machen.

## Zwischenfazit

Mit dem quantitativen Teilmodell des Verkehrs auf die abgetrennte Teilpopulation des Laubfroschs wurden alle Systemdimensionen des Systemdimensionskreises mit ihren Wechselwirkungen beispielhaft betrachtet:

- die Laubfroschpopulation als biotisches System und Teil des Schutzgutes Tiere,
- das Schutzgut Fläche als abiotisches System,
- der Verkehr, mit der technischen Komponente der Fahrzeuge und der Straße, sowie der sozialen Komponente der Verkehrsteilnehmenden.

Die Ergebnisse der Simulation lassen den Schluss zu, dass die infolge des Straßenbaus abgetrennte Teilpopulation ohne das Ergreifen von Gegenmaßnahmen nicht überlebensfähig ist. Das Systemverhalten kann durch Eingriffe in das Ordnungsprinzip des technischen Systems verändert werden, beispielsweise durch das künstliche Anlegen von Biotopen zum Ermöglichen der Vernetzung mit den großen Populationen im Nordwesten der Gemarkung Elstorf oder dem Bau von Querungshilfen und Schutzzäunen (vgl. Abschnitt 6.8.5).

Dies bedingt, dass diese Maßnahmen durch Sinn als Ordnungsprinzip des sozialen Systems der Akteur:innen innerhalb des *P-Systems* angenommen und umgesetzt werden. Der Regelkreis geht damit durch die Rekombination des Teilsystems von den Auswirkungen des Vorhabens zu den Planer:innen. Dies unterstützt den in Abschnitt 4.10 durch das Modell zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs dargestellten Regelkreis, indem beispielsweise die Anforderungen an das System *SuL1* um Querungshilfen und Schutzzäune ergänzt werden und damit der Systemtransformationserfolg gesteigert wird.



## 6.9 Fazit und Ausblick

Die Case-Study ermöglichte es, die in der Dekomposition identifizierten Entitäten des Systems *SuL* der OU Elstorf zu einem qualitativen Modell zusammenzuführen. Daraus sollten wichtige Systemgrößen sowie mögliche Rückkopplungen, Instabilitätspunkte und Attraktoren erkannt werden. Ferner sollte die Frage beantwortet werden, ob das Modell in der Simulation ein Verhalten zeigt, welches durch eine sektorale Betrachtung nicht darstellbar ist.

Mit der OU Elstorf konnte ein Vorhaben für die Case-Study bestimmt werden, welches sich in einer Phase der Planung befindet, welche in Abschnitt 5.5.9 als maßgeblich für die Bestimmung des Ordnungsprinzips benannt wird.

Die Ergebnisse der Inhaltsanalyse in Abschnitt 6.3, in Verbindung mit der Modellierung des ökosystemaren Systems in Abschnitt 6.4, decken sich mit einigen Erkenntnissen der **retrospektiven Gesetzesfolgenabschätzung** in Abschnitt 5.6. Die UVS der OU Elstorf zeichnet sich durch eine Ursache-Wirkung-Betrachtung aus, wobei die Straße als Ursache der Auswirkungen feststeht. Bemerkenswert ist, dass in der UVS sehr detaillierte Wirkketten beschrieben werden, welche auch mehrere Schutzgüter einschließen. Die Auswirkungen werden damit qualitativ und medienübergreifend erfasst und bewertet. Allerdings ist diese Art der Darstellung nicht geeignet, diese Auswirkungen systemisch und mit ihren Wechselwirkungen zu berücksichtigen.

Die visuelle Darstellung der Wirkketten der UVS (Abbildung 81) in Abschnitt 6.4.2 erinnert an ein **Blumengesteck, welches an der Schnittstelle der einzelnen Pflanzen zusammengebunden** wird. Obschon die einzelnen Wirkketten an der Bindung zusammengeführt werden, verzweigen sie sich hierarchisch, allerdings ohne Rückkopplungsschleifen zu bilden. Die konkreten Auswirkungen des Vorhabens auf ein Schutzgut wirken nicht auf die Ursache zurück. Das Modell zeigt zwar bereits ein gewisses Maß an Komplexität. Systemisch be-

trachtet besteht es aus einem Bündel linearer Kausalketten. Ökosysteme sind jedoch dynamische Systeme (vgl. WOHLGEMUTH et al. 2019). Die Methodenbeschreibung im Merkblatt zur Umweltverträglichkeitsstudie in der Straßenplanung (M UVS) sieht eine kartografische Gesamtschau der Schutzgüter vor (vgl. Abschnitt 5.5.5). Durch die überlagernde Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf die Schutzgüter sollen konfliktarme Korridore identifiziert werden. Doch auch dies entspricht nicht einer systemischen Sichtweise, wonach das „Ganze [...] mehr [ist] als die Summe seiner Teile“ (BEETZ 2016).

Mithin sind sozioökonomische Systeme komplexe dynamische Systeme (vgl. Abschnitt 5.4). Die Ergebnisse der Delphi-Studie stützen die Annahme des Perspektivwechsels, wonach dem *P-System* eine hervorgehobene Bedeutung bei der Optimierung des Erfolgs zukommt (vgl. Abschnitt 3.8). Die meisten **Probleme sowie deren beeinflussenden Faktoren** bewegen sich im Kontext der **sozialen Systemdimension**. Im Ergebnis verweist die Delphi-Studie auf die Notwendigkeit, den Sinn als ordnendes Prinzip sozialer Systeme zu verändern. Die Expert:innen nehmen den Vorschlag für die Stabilität des Systems SuL als Lebensregel und allgemeines Gesetz mehrheitlich zwar nicht an. Aus dem Wunsch nach einer ganzheitlichen Betrachtung i.V.m. dem vorgeschlagenen Perspektivwechsel und der erkannten Notwendigkeit, Sinn neu zu konstituieren, erwächst ein **Auftrag für einen breiten fachlichen Diskurs**. Der Vorschlag der Stabilität sollte hierfür die Basis bilden.

Weder aus der UVS noch aus den Ergebnissen der Delphi-Studie kann ein Modell mit Rückkopplungen entwickelt werden und die einzelnen Teilmodelle zeigen kein überraschendes Verhalten. Erst nach der deduktiven Ergänzung und Kopplung mit einem sozioökonomischen Teilmodell können mehrere Rückkopplungen beobachtet werden. Diese Zusammenhänge werden in der UVS nicht erkannt. „The human mind is not adapted to interpreting how social systems behave.“

Our social systems belong to the class called multiple-loop nonlinear feedback systems" (FORRESTER 2013).

Die Analyse des gekoppelten Systems erlaubt Rückschlüsse auf das Systemverhalten. Bifurkationen und Attraktoren werden erkannt. Damit steigt das Wissen über die Umstände des Handelns und dessen Folgen. Dies kann dazu beitragen, sicherere Abwägungsentscheidungen zu treffen (vgl. Abschnitte 4.7 und 6.8.6). Viele Modellbestandteile aus der Delphi-Studie verweisen auf Rückkopplungen, welche in längeren Zeiträumen und über die Grenzen des Systems *SuL* hinauswirken.

Mit den Variablen *Widerstände* und *Verkehr* werden zwei Schlüsselvariablen identifiziert. Möchte man das Verhalten des Systems beeinflussen, kann es sinnvoll sein, in diese Variablen einzugreifen (vgl. Abschnitt 6.7.2).

Am Beispiel der Wirkung zwischen der Schlüsselvariablen Verkehr und dem Laubfrosch wird eine weitere Bifurkationsstellen identifiziert und quantifiziert. Die Simulation des Modells zeigt, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit die abgetrennte Teilpopulation zusammenbrechen wird. Der Zusammenhang zwischen Verkehr und den Auswirkungen auf Amphibien wird zwar in der UVS benannt, gleichwohl kann die Simulation ein hilfreiches Mittel sein, um das Risiko der Bifurkationsstelle im System besser abzuschätzen.

## 7 Schlussbetrachtung, Reflexion und Ausblick

### 7.1 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Aus der Gesamtbetrachtung der Abschnitte 3 bis 6 lassen sich durch Deduktion die im folgenden Textkasten aufgeführten wesentlichen Schlussfolgerungen ziehen.

#### Schlussfolgerungen

Die Transformation von Straße und Landschaft (SuL) durch die Planung und Realisierung von Großprojekten der Infrastruktur beeinflusst in vielerlei Hinsicht Menschen und ihre Umwelt. Die üblichen Prozesse in der Planungs- und Entwurfsstufe der Vorplanung sind nicht ausreichend geeignet, um die Komplexität in den Projekten adäquat zu berücksichtigen. Durch die Linienbestimmung nach § 16 FStrG wird das Ordnungsprinzip des Systems SuL festgelegt, und dies bei unsicherem Wissen über die Folgen für Natur und Umwelt, aber auch für Mensch und Gesellschaft. Dies führt zu Konflikten im Projekt und zu Widerständen, u.a. von Betroffenen und Umweltverbänden. Daraus können Verzögerungen, Budgetüberschreitungen oder Vertrauensverlust resultieren. Die Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt und die Gesellschaft können unmittelbar oder mit Verzögerung eintreten und sie können unerwünschte und irreversible Systemzustände bewirken.

Nicht selten werden daher die Projektziele und/oder die Ziele des Natur- und Umweltschutzes verfehlt. Zudem sinkt die gesellschaftliche Akzeptanz für Großprojekte der Infrastruktur. Die Straße wird in der UVS als Ursache für die Auswirkungen des Vorhabens betrachtet. Der Bau der Straße ist jedoch mehr – er ist das Ergebnis einer Rückkopplung, welche in ein übergeordnetes System eingebettet ist. Damit ist die Straße nicht nur Ursache, sondern auch Wirkung zugleich. Mit

dem Ordnungsprinzip des Systems der Planungsprozesse (P-System) wird eine wesentliche Stellschraube für die Optimierung des Systemtransformationserfolgs identifiziert, indem einerseits Schwachstellen in den Planungsprozessen aufgezeigt werden und andererseits ein alle Akteur:innen verbindender Blick auf das Gesamtsystem gelenkt wird. Es wird vorgeschlagen, Entscheidungen unter der Maxime zu treffen, dass dieses System, welches nicht aus einem reduzierten Teil des Ganzen, sondern aus der Straße und der die Straße umgebenden Landschaft als Ganzem besteht, resilient sein muss in Bezug auf die Auswirkungen des Vorhabens und auf die vielfältigen Einflüsse aus der Umwelt.

Mit den Handlungsempfehlungen wird ein Lösungsweg aufgezeigt, um mit der Komplexität dieser Projekte umzugehen und den Erfolg zu optimieren.

Sowohl der Gegenstand der Planung als auch der Transformationsprozess zeichnen sich durch ihre Komplexität aus.

Die wichtigsten Erkenntnisse der Paper 1 bis 4 werden thematisch zusammengefasst und daraus **Handlungsempfehlungen** abgeleitet. Dies erfolgt jeweils in zwei Schritten:

1. Aufgreifen und Zusammenführen wesentlicher Erkenntnisse eines Themenstrangs aus den verschiedenen Abschnitten,
2. Ableiten von Handlungsempfehlungen für eine Optimierung des die Komplexität besser abbildenden Planungsprozesses.

Straße und Landschaft als ein System betrachten

In Abschnitt 3 wird ein **Perspektivwechsel in der Planungspraxis** vorgeschlagen. Demnach bilden die Straße und die sie umgebende Landschaft das System *SuL*. Dieses System wird durch das Infrastrukturvorhaben vom *SuL 0* zum *SuL 1*-System transformiert. Die Transformation wird durch das *P-System* gestaltet, welches aus dem sozi-

alen System der Akteur:innen und den Prozessen als Ordnungsprinzip besteht. Das *P-System* legt durch die Planung wiederum das Ordnungsprinzip des Systems *SuL 1* fest. Das **Ordnungsprinzip** eines Systems zeigt, aus welchen Entitäten es besteht und wie die Entitäten untereinander und mit der Umwelt interagieren (vgl. KRIEGER 1998, BERGHAUS 2011).

Soziale Systeme operieren durch Kommunikation auf der Grundlage des Ordnungsprinzips *Sinn* und Pläne sind ein wesentliches planerisches Instrument der Kommunikation. Pläne sind die Sprache der Architekt:innen (vgl. MAIER 2009).

Durch den Perspektivwechsel betrachten die Akteur:innen das System in der Transformation aus einer holistischen Sicht. Durch die Annahme dieser geistigen Haltung wird folglich nicht eine Straße entworfen, ein Lärmgutachten erstellt und/oder die Auswirkungen eines Vorhabens auf die Umwelt erfasst und bewertet. **Vielmehr wird für ein komplexes System das Ordnungsprinzip durch planerisches Handeln verändert.** Komplexität liegt nach LUHMANN (2015) dann vor, wenn die Verknüpfungskapazitäten nicht ausreichen, um alle möglichen Interaktionen zwischen den Elementen durchzuführen, also wenn zu viele Entitäten mit zu vielen denkbaren Verbindungen zwischen ihnen existieren. Es wird daher in Abschnitt 3 darauf hingewiesen, dass die durch das Transzendieren gestiegene Komplexität durch **Dekomposition** reduziert werden muss. Hierbei ist darauf zu achten, dass die im Rahmen der ganzheitlichen Betrachtung identifizierten Wechselwirkungen bei der späteren **Rekomposition** betrachtet werden müssen, damit die Wirkungen auf einzelne Schutzgüter oder andere Entitäten berücksichtigt werden können. Es wird ferner angeregt, das System in einem Modell abzubilden und dessen Verhalten zu simulieren.

Dazu müssen die Akteur:innen den Blick auf das Gesamtsystem *SuL* richten und nicht allein die Straße betrachten. Das übergeordnete System steht dadurch im Vordergrund. LUHMANN (2015) verweist darauf, dass sich die Systemtheorie weniger mit dem Systembegriff selbst als

vielmehr mit der Differenz zwischen System und Umwelt auseinander-  
setzt. Diese Differenz geschieht einerseits durch die Operationen des  
Systems, aber auch durch „das Unterscheiden, Beobachten“ (BERG-  
HAUS 2011). Somit wird nicht zwischen *Wir* und *Nicht-Wir* unter-  
schieden (vgl. LUHMANN 2015). Ein Problem bzw. ein Konflikt einer/eines  
anderen Akteur:in (*Nicht-Wir*) wird zur eigenen Aufgabe (*Wir*), indem  
das System auf SuL erweitert wird. Der Fokus planerischen Handelns  
wird damit verbreitert und damit werden die Auswirkungen des Vorha-  
bens - **out of the box** - auf das gesamte System betrachtet.

### **Handlungsempfehlung P – Perspektivwechsel als geistige Haltung annehmen**

Die Akteur:innen in Projekten der Verkehrsinfrastruktur sollten  
das System Straße und Landschaft holistisch betrachten und ih-  
ren Teil der Planung in die Komplexität des übergeordneten Kon-  
textes einordnen, um den Projekterfolg in vielerlei Hinsicht zu ver-  
bessern. Die Wirkbeziehungen zu anderen Teilbereichen und  
das Gesamtsystem müssen erfasst und kommuniziert werden.  
Es entsteht ein höheres Bewusstsein für die Auswirkungen auf  
das System und damit auf *das Wir*. Diese Denkweise unterstützt  
zudem das im Endbericht der *Reformkommission Bau von Groß-  
projekten* geforderte **kooperative Planen im Team**.

#### **Case Study:**

Der prognostizierte Zusammenbruch der abgetrennten Teilpopu-  
lation des Laubfrosches (*Hyla arborea*) im Bereich südlich von  
Elstorf könnte das gesamte System des Verkehrsvorhabens mit  
seiner Umgebung beeinflussen, da dieses eine nach Anhang IV  
FFH-Richtlinie besonders zu schützende Art ist. Diese Informa-  
tion sollte daher in das übergeordnete qualitative Modell zurück-  
fließen. Werden mögliche Folgen für das System Straße und  
Landschaft erkannt, dann wirken sich diese nicht auf eine Umwelt  
außerhalb des Systems aus (*Nicht-Wir*), sondern auf die Ak-  
teur:innen und deren System (*Wir*).

## Änderung des Teilprozesses Umweltverträglichkeitsstudie im Straßenbau

In Abschnitt 5.6 wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Wechselwirkungen nach § 2 UVPG in den meisten Umweltverträglichkeitsstudien (UVS) nicht ausreichend betrachtet würden. Die Ergebnisse der Gesetzesfolgenanalyse von 54 untersuchten UVS in Abschnitt 5.6 bestätigen diese Hypothese. Die Wechselwirkungen bestimmen jedoch das dynamische Verhalten eines Systems (vgl. MAIER 2009, CRAWLEY et al. 2016). Entfällt deren Betrachtung, dann können die Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt nicht ausreichend in der Planung und Abwägung berücksichtigt werden. In Abschnitt 4.7 wurde am Beispiel einiger Studien gezeigt, dass Eingriffe in ein Ökosystem zum Teil unerwartete, aber erhebliche Folgen haben können (vgl. PAINE 1966, ESTES et al. 1998, ESTES et al. 2011, RIPPLE & BESCHTA 2012, CARROLL 2017).

Wenn die Wechselwirkungen im Rahmen der Transformation von *SuL* nicht ausreichend betrachtet werden, diese jedoch große Auswirkungen auf das System haben können, dann treffen Akteur:innen Entscheidungen, ohne deren Wirkungen vollständig zu kennen bzw. abschätzen zu können. Damit ist die Ausprägung des Umweltzustands für die an der Entscheidung Beteiligten nicht hinreichend bekannt. Entscheidungen in diesem Kontext werden je nach Ausprägung als Entscheidung bei Unsicherheit oder Risiko bezeichnet (vgl. GÖBEL 2018, LAUX et al. 2014). Diese Unsicherheit wäre jedoch vermeid- oder zumindest reduzierbar.

Zudem wird in den Abschnitten 3.4 und 5.6.2 das Vorgehen im Merkblatt für die Umweltverträglichkeitsstudie in der Straßenplanung kriti-



siert, da darin die Wechselwirkungen lediglich durch grafische Überlagerung der Raumpfindlichkeiten zum Zweck des Auffindens konfliktarmer Korridore beschrieben wird (vgl. BRACHER & BÖSL 2017). Dies wird dem systemischen Gedanken nicht gerecht, insbesondere da ein System aus mehr als nur der Summe seiner Einzelteile besteht (vgl. BEETZ 2016, CRAWLEY et al. 2016).

Daraus folgt, dass unerwünschte emergente Eigenschaften durch das im M UVS vorgegebenen Vorgehen nicht erkannt werden, und dies mit der Vorplanung in eben jener Planungsstufe, in der das Ordnungsprinzip und damit das Verhalten des Systems *SuL* bestimmt werden (vgl. Abschnitt 5.5.9). Das Fehlen einer systemischen Betrachtung der Wechselwirkungen nach § 2 UVPG führt zu der Empfehlung, die Vorgehensweise des M UVS zu überarbeiten.

## **Handlungsempfehlung U – Änderung des Vorgehens bei der Umweltverträglichkeitsstudie von Infrastrukturmaßnahmen des Straßenverkehrs**

Es wird empfohlen, die Vorgehensweise im Merkblatt für die Umweltverträglichkeitsstudie in der Straßenplanung (M UVS) zu erweitern, indem die Schutzgüter einschließlich der darin subsubstantiierten Arten in ein qualitatives ökosystemares sowie ein qualitatives sozioökonomisches Teilmodell überführt werden. Dazu sollen diese als Variablen in einer Systems Dynamics Software eingegeben und die Wirkbeziehungen zwischen den einzelnen Variablen, sofern bekannt, als Wirkpfeile mit Angabe der Wirkrichtung dargestellt werden (vgl. Abschnitt 6.4. ). Dies ermöglicht eine qualitative Analyse von Rückkopplungen und damit verbundenen Erkenntnisse über ein mögliches Verhalten des Systems in Abhängigkeit von der Dynamik. Bifurkationsstellen und Attraktoren können identifiziert werden. Ebenso können für das konkrete System relevante Schlüsselvariablen und Teilsysteme erkannt werden (vgl. Abschnitt 6.7).

### **Case Study:**

Durch die deduktive Ergänzung im qualitativen sozioökonomischen Teilmodell konnte die Variable Verkehr als Schlüsselvariable identifiziert werden. Die Visualisierung der Wirkungen der erkannten Rückkopplungen auf die Variable Verkehr über die Zeit zeigt, dass sich das System an einer Bifurkationsstelle befindet, und dass die Realisierung der Ortsumfahrung über den Mechanismus der *shifting dominance* später zunächst zu einer Entlastung und Erhöhung der Attraktivität der Verbindung führen wird. Damit wird zeitlich verzögert eine Verringerung der Verkehrsqualität einhergehen, welche zu einer Stabilisierung des Verkehrs führen wird, allerdings auf einem höheren Niveau.

## Straße und Landschaft als resilientes System gestalten

In Abschnitt 3.4 wird erläutert, dass der holistische Denkansatz die gesellschaftliche Wohlfahrt und den Erhalt der Lebensgrundlagen voraussetzt. Daraus folgt die These, wonach dies durch die **Stabilität des Gesamtsystems** gewährleistet ist. Zudem wird in Abschnitt 3.6 darauf hingewiesen, dass dynamische Systeme ein chaotisches Verhalten aufweisen können und dass beispielsweise Verbandsklagen zu einem instabilen Verhalten führen können. Der Baustopp wird, insbesondere von den Vorhabenträgern, als unerwünschte Situation betrachtet – in der Systemtheorie Attraktor genannt. Systeme versuchen diesen unerwünschten Zustand zu beenden und Stabilität wiederherzustellen (vgl. BORGERT 2012). Aus der Perspektive der Kläger:in könnte der Baustopp wiederum als Stabilisierung betrachtet werden.

Die Erwartungshaltung an das System und dessen Zustand und damit die Bestimmung des Erfolgs können demnach zwischen den Akteur:innen voneinander abweichen. Abschnitt 4 geht auf diesen Umstand ein und befasst sich mit der Frage, wie der **Erfolg des Gesamtsystems Straße und Landschaft bei der Transformation** im Rahmen von Multistakeholder-Großprojekten bestimmt werden kann. Dazu wird der Schritt des Transzendierens aufgegriffen und mit dem Systemtransformationserfolg eine begriffliche Abgrenzung vom Projekterfolg vorgenommen. Die Methode im Projektmanagement, nach welcher das Projekt zwar in seinem Umfeld, ansonsten aber weitgehend isoliert betrachtet wird, versagt bei Multistakeholder-Projekten. Es ist festzustellen, dass *SuL* weder ein technisches, heteronom steuerbares System noch ein ökologisches, homöostatisches System darstellen. Die Transformation wird durch das *P-System* initiiert und vorangetrieben. **Die Folgen des Handelns sind nicht vollständig bekannt**. Häufig führen daher Lösungen von Teilproblemen zu neuen Problemen (vgl. RITTEL 2013).

Mithin wird festgestellt, dass viele Akteur:innen mit der Transformation in Berührung kommen (vgl. Abschnitt 4.6). Daher existiert ein komple-

xes, mehrdimensionales Zielsystem. Die Ziele haben einen unterschiedlichen Grad der Operationalisierung. Ferner stehen viele einzelne Ziele in einem konfliktären Verhältnis zueinander (vgl. Abschnitt 4.5). Hieraus resultieren bösartige, verzwickte Probleme, die schwierig zu bewältigen sind (*wicked problems*) (vgl. RITTEL 2013).

Dennoch müssen in der Vorplanung Entscheidungen über den künftigen Verlauf der Trasse getroffen werden, wenn auch nicht parzellenscharf (vgl. BRACHER & BÖSL 2017). Wegen der zuvor genannten Gründe handelt es sich um eine komplexe Entscheidungsproblematik. Der Entscheidung geht die Abwägung voraus. Die an der Entscheidung beteiligten Akteur:innen besitzen u.U. nicht alle relevanten Informationen, da die Dynamik des Systems infolge der defizitären Betrachtung der Wechselwirkungen nicht ausreicht und eben diese Dynamik zu einem überraschenden Verhalten des Systems führen kann (vgl. MAIER 2009, CRAWLEY et al. 2016, MEADOWS & WRIGHT 2011).

Demnach liegt ein **Abwägungsdefizit** vor, indem nicht alle „abwägungsrelevanten Belange“ (ERBGUTH & SCHLACKE 2016) berücksichtigt werden. Der Verweis auf die schwierige Nachvollziehbarkeit der komplexen Umstände für die Gerichte, wie dies von FÜRST & SCHOLLES (2008) ausgeführt wird, darf nicht über das Vorhandensein des Abwägungsdefizits hinwegtäuschen.

Es besteht dennoch die Notwendigkeit einer Abwägung im Rahmen der Linienbestimmung – und dies im Spannungsfeld zwischen der Entscheidung bei Unsicherheit oder Risiko und einem Multistakeholder-Umfeld mit einem komplexen, individuell stark differenzierten Zielsystem. Das Ergebnis der Abwägung ist die Entscheidung für eine Planung als der „gedankliche[n] Vorwegnahme künftigen Handelns“ (WÖHE 2000, WÖHE et al. 2020). Abschnitt 4.9 untersucht, welchen Beitrag die Ethik leisten kann bei der Frage, wie dieses Handeln **moralisch richtig** erfolgen kann (vgl. LUTZ-BACHMANN 2013). Der **Utilitarismus** bietet in diesem Kontext einen wichtigen Denkanstoß, indem er den Schwerpunkt auf die Folgen des Handelns und auf deren **Nützlichkeit** legt (vgl. MILL 2014). Die Umsetzung gestaltet sich jedoch

schwierig, wenn die Auswirkungen der Handlungen wegen der Mängel bei der systemischen Berücksichtigung der Wechselwirkungen nach § 2 UVPG nicht bekannt sind oder das Wissen darüber unsicher ist. Mit der Anwendung des **kategorischen Imperativs** besteht eine Möglichkeit, eine Maxime für die Transformation von *SuL* aufzustellen. Daraus wird der Sinn des *P-Systems* hergestellt, um Planen als zukünftiges Handeln zu regeln. Demnach ist die Maxime die über den Handlungen stehende Regel, welche „ein allgemeines Gesetz werde[n]“ (KANT 2019) soll. Wichtig ist, dass nicht die einzelne planerische Handlung, sondern die Maxime das Gesetz sein soll (vgl. MÜLLER 2017). Damit kann es nicht zur Regel werden, Ortsumfahrungen zu bauen, Querungshilfen einzurichten oder Ausgleichsflächen zu schaffen. Stattdessen sollte der Maxime gefolgt werden, dass das System *SuL* resilient gegen störende Fließgrößen sein soll (vgl. Abschnitt 4.11).

Aus der Zusammenführung des kategorischen Imperativs und dem Sinn als Ordnungsprinzip sozialer Systeme erwächst zunächst der Vorschlag, ein von partikularen Interessen entkoppeltes Ziel als eine **Maxime** zu entwickeln: das Element der **Systemstabilität**.

Allerdings stimmt die Mehrheit der Teilnehmenden der Delphi-Studie dem Vorschlag nicht zu, dass die Stabilität des Systems *SuL* ein übergeordnetes Ziel sein könne. Es wird in Abschnitt 6.5 ausgeführt, dass die Thematik im Rahmen der Studie zu abstrakt gewesen sein könnte. Sicherlich wäre es für die Akteur:innen künftig hilfreich, die dem Vorschlag zugrunde liegenden Argumentationen nachzuvollziehen. Dies erfordert einen breiten fachlichen Diskurs. HABERMAS (2015) stellt mit dem **transzendental-pragmatischen Grundsatz D** ein Prinzip vor, nach welchem die normative Anwendung einer Regel der Zustimmung der Betroffenen bedarf. Dies soll in einem fachlichen Diskurs geschehen. Auf dieser Basis soll die Maxime der Systemstabilität fachlich diskutiert werden.

Die nicht hinreichende Zustimmung zur Stabilität als übergeordnetes Ziel bei den Teilnehmenden der Delphi-Studie kann auch auf Schwierigkeiten mit dem **Begriff der Stabilität** zurückgeführt werden. Der Duden definiert Stabilität u.a. als „das Stabil-, Haltbar-, Fest-, Konstantsein“; der Begriff konstant wird wiederum beschrieben als „gleichbleibend“ (DUDEN-ONLINE 12.04.2022). Daraus kann die Stabilität von SuL assoziiert werden mit „unveränderlich“, und dies könnte ein Grund für die ablehnenden Antworten sein. Diese Assoziation steht auch im Widerspruch zum Begriff, welcher in der Literatur zu *Systems Dynamics* verwendet wird. Darin wird *Stability* mit dem Beispiel einer Murmel auf einer nach innen gewölbten Fläche erläutert: „The marble at the bottom of the cup is an example of stable equilibrium. If you were to deflect it from the resting position, it would return to the original position“ (FORD 2010).

Resilienz hingegen wird wie folgt definiert: „Resilience is a measure of a system’s ability to persist within a variable environment“ (MEADOWS & WRIGHT 2011).

Stabilität muss nicht statisch sein, denn Systeme können dynamisch stabil sein (vgl. MEADOWS & WRIGHT 2011). In Abschnitt 4.11 wird mit der Untersuchung der Auswirkung störender Flussgrößen im Modell eine Methode zur Überprüfung der Systemstabilität beschrieben (vgl. FORD 2010). Die Simulation stellt mithin kein Bewertungskriterium dar – das ist auch nicht ihre Aufgabe (vgl. MEADOWS & WRIGHT 2011). Sie gibt nur Hinweise auf ein mögliches Verhalten des Systems.

MEADOWS & WRIGHT (2011) beschreiben die **Resilienz** als eine Eigenschaft **funktionierender** Systeme. Sie verstehen Resilienz als die **Lebensfähigkeit** eines Systems und dessen Fähigkeit, mit wechselnden Umweltbedingungen umzugehen. Der Begriff der Resilienz besitzt Konsistenz mit den Ausführungen zur Systemstabilität in Abschnitt 4.11 und wird daher synonym verwendet. In den vorliegenden Ausführungen wird Stabilität und Resilienz im Sinne von MEADOWS & WRIGHT (2011) und FORD (2010) verstanden. Die Sensitivitätsanalyse in Abschnitt 6.8.4 wurde analog durchgeführt, indem unsichere Variablen

mit einer Zufallsfunktion programmiert und die Auswirkungen auf das System überprüft wurden.

Das Mussziel der Resilienz nimmt innerhalb der Handlungsempfehlungen einen umstrittenen Platz ein. Dies begründet sich einerseits in den zögerlichen bis ablehnenden Urteilen im Rahmen der Delphi-Studie (vgl. Abschnitt 6.5) und andererseits in ihrer Bedeutung für die Schaffung einer Maxime im Sinne Kants, welche gleichermaßen den Sinn des sozialen Systems der Planenden darstellt. Das Maß der Resilienz von *SuL* hilft den Entscheidungsträger:innen, die möglichen Folgen ihres Handelns einzuordnen. Diese Folgen sind wegen der Komplexität und des begrenzten Wissens über die Umstände zum Zeitpunkt der Entscheidung nicht in ihrem gesamten Gepräge bekannt (vgl. Abschnitt 4.7).

Die Handlungsempfehlung R setzt die Annahme der Maxime der Resilienz als Sinn des sozialen Systems der Akteur:innen voraus. Allerdings ist „[j]eder Sinn [...] widerspruchsfähig [...]. Widerspruch ist ein Moment der Selbstreferenz von Sinn, da jeder Sinn die eigene Negation als Möglichkeit einschließt“ (LUHMANN 2015).

Es ist anzustreben, in einem fachlichen Diskurs die Resilienz als Maxime und Sinn im *P-System* zu etablieren. Dennoch kann sie kein Selbstzweck sein. Das übergeordnete Ziel des menschlichen Strebens ist ein gutes und glückliches Leben (vgl. MÜLLER 2017).

## **Handlungsempfehlung R – Resilienz des Systems Straße und Landschaft als Mussziel einführen**

Bei UVP-pflichtigen Vorhaben sollte künftig die Überprüfung der Resilienz des Systems *SuL* im Prozess als Maxime verankert werden. Konkret kann dies umgesetzt werden mithilfe des Modells zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs (vgl. Abschnitt 4.10). Ein wesentliches Instrument und gleichzeitig den Startpunkt bildet dabei das Erstellen eines Basismodells durch eine:n Systemarchitekt:in, gemeinsam mit wesentlichen Akteur:innen und Betroffenen. Es bietet sich an, diesen Schritt in Anlehnung an § 15 UVPG im Rahmen eines Scoping-Termins auszuführen. Wichtig ist, dass die Akteur:innen in ihrer Gesamtheit die im Systemdimensionskreis dargestellten Entitäten, also die Schutzgüter nach § 2 UVPG sowie Mensch, Gesellschaft, Wirtschaft und Straße, vollumfänglich vertreten.

Die Resilienz des Systems nimmt die Stellung des primären Mussziels im Zielsystem ein. Die Erfüllung von Musszielen ist nach HABERFELLNER (2012) die zwingende Voraussetzung für den Erfolg.

Auf der Grundlage der sozioökonomischen, ökosystemaren Teilmodelle i.V.m. dem Basismodell entwickelt der/die Systemarchitekt:in ein Gesamtmodell von *SuL* im Planungsraum. In der Sensitivitätsanalyse wird die voraussichtliche Zielerfüllung kontrolliert. Die Resilienz wird überprüft, indem im Modell störende Fließgrößen implementiert werden. Die Simulation liefert Hinweise darüber, ob Muss-Systemziele oder Muss-Transformationsziele trotz Störungen erreicht werden. Ist dies nicht der Fall, dann ist das System nicht resilient. Diese Information wird an den Akteur:innenkreis zurückgespiegelt. Ist das System nicht resilient, ist ein neuerlicher Austausch unter den Akteur:innen notwendig, bis das Ziel der Resilienz erfüllt ist.

### **Case Study:**

Die Resilienz wurde am Beispiel des Zusammenhangs zwischen dem Verkehr auf der Ortsumfahrung und der abgetrennten Teilpopulation des Laubfrosches überprüft. Mit dem Verlust durch Kollision wurde eine störende Flussgröße im Modell integriert und deren Wirkung auf die Population simuliert. Das Ergebnis bildet ein Sachurteil. Es obliegt den Akteur:innen, die Auswirkungen unter Zuhilfenahme des Zielsystems zu beurteilen.



Die Überprüfung der Resilienz des Systems Straße und Landschaft (SuL) erfordert die Rolle einer Systemarchitekt:in, welche:r die Entwicklung des Basismodells im Scoping-Termin gemeinsam mit den Akteur:innen gestaltet. Mit einer technischen Orientierung findet in den Niederlanden bei der Planung von Infrastrukturvorhaben bereits Systems Engineering in einem interdisziplinären Umfeld statt (vgl. GEISREITER et al. 2019). Damit werden allerdings die sozialen und ökosystemaren Systemdimensionen vernachlässigt (vgl. Abschnitt 5.7.5). In Abschnitt 3.8 wird vorgeschlagen, die Systemarchitektur durch eine:n Expert:in für systemisches Denken durchführen zu lassen, um den Prozess der Gestaltung der Systemarchitektur, also des Ordnungsprinzips zu begleiten.

VESTER (2015) unterstreicht in seinen Grundregeln der Biokybernetik die Notwendigkeit der Dominanz negativer über positive Rückkopplungen, um die Lebensfähigkeit des Systems zu gewährleisten.

#### **Handlungsempfehlung A – Systemarchitekten im Planungsprozess implementieren**

Die Durchführung der in der Handlungsempfehlung R genannten Tätigkeiten des/der Systemarchitekt:in erfordert, dass diese Rolle im Planungsprozess implementiert wird. Der/die Systemarchitekt:in berät die Akteur:innen hinsichtlich notwendiger deduktiver Ergänzungen der Teilmodelle. Er/sie führt die Kopplung der Teilmodelle durch, analysiert die Rückkopplungen und identifiziert Schlüsselvariablen, Bifurkationsstellen und Attraktoren. Ferner führt er/sie die Sensitivitätsanalyse durch und ermittelt den voraussichtlichen Systemtransformationserfolg.

Teilmodelle entwickeln und in einer Datenbank öffentlich zugänglich machen

Abschnitt 3.8 verweist auf die Notwendigkeit, alle für die spätere Rekomposition notwendigen Informationen bereitzustellen. Es wird ausgeführt, dass dies durch eine Plattform sichergestellt werden könnte, welche diese Daten enthält.

Auf die Problematik der **Grenzziehungen** wird u.a. in Abschnitt 5.4.4 eingegangen. Sie sind notwendig, um Komplexität zu verringern und das System in Teilen analysieren zu können. Es wird auf das Instrument der Abstraktion und Vereinfachung hingewiesen. Dennoch müssen die Wechselwirkungen beachtet werden, um deren Wirkungen nicht zu vernachlässigen (vgl. MEADOWS & WRIGHT 2011). Einige Grenzen können sicherlich an Stellen mit wenigen Interdependenzen gezogen werden, wie dies von MAIER (2009), CRAWLEY et al. (2016) und VESTER (2015) gefordert wird, doch ist dies in komplexen Systemen nicht immer möglich. Das Beispiel des Gerberträgers im Brückenbau in Abschnitt 5.3.2 zeigt, dass die Schnittstellen nicht vernachlässigt und die Teilmodelle nicht vollkommen unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen. Die Informationen zu den Schnittgrößen in den Gelenken müssen vom Teilsystem 2 zu den Teilsystemen 1 und 3 weitergegeben werden, um die Auflagerkräfte des gesamten Tragwerks bemessen zu können (Abbildung 40).

Das Beispiel der Case Study in 6.8 zeigt, dass es mehrere Rückkopplungen im System *SuL* gibt. Das ökosystemare Teilmodell beinhaltet keine Rückkopplungen. Dennoch ist davon auszugehen, dass dies nicht der Realität entspricht, da Ökosysteme dynamische Systeme sind (vgl. WOHLGEMUTH et al. 2019).

In Abschnitt 4.7 wurden einige Rückkopplungseffekte in **Ökosystemen** genannt, beispielsweise der Entnahme des Wolfes im Yellowstone Nationalpark durch den Menschen oder dem Zusammenhang zwischen der Invasion der Cutthroat-Forelle (*Oncorhynchus clarkia*) und dem Rückgang der Population der Wapitis (*Cervus elaphus*),

ebenso im Yellowstone Nationalpark (vgl. MIDDLETON et al. 2013, RIPPLE & BESCHTA 2012).

POWER et al. (1996) heben die Rolle sogenannter **Schlüsselarten** (*keystone species*) für Ökosysteme hervor und führen aus, dass diese identifiziert werden sollen, da sie eine starke Auswirkung auf Lebensgemeinschaften und Ökosysteme haben. Sie definieren *keystone species* wie folgt:

„We define a keystone species as one whose impact on its community or ecosystem is large, and disproportionately large relative to its abundance” (POWER et al. 1996).

Die Autor:innen diskutieren experimentelle sowie vergleichende Methodenansätze, um Schlüsselarten zu identifizieren, weisen allerdings auch auf die Schwierigkeiten hin, die damit verbunden sind. Mithin zeigen sie die Möglichkeit auf, die experimentelle Methode mit Modellierungsansätzen zu kombinieren (vgl. POWER et al. 1996).

Die qualitative und die quantitative Modellbildung sowie die Simulation bedeuten einen gesteigerten Zeitaufwand im Projekt. Zudem ist die Bestimmung der Schlüsselarten, aber auch anderer relevanter Arten aufwendig. Hilfreich wäre es daher für die Bearbeitung der UVS sowie die Tätigkeit der/des Systemarchitekt:in, wenn Zugriff auf eine bereits vorhandene Datenbasis bestünde, um den Aufwand zu verringern und gleichzeitig die Reaktionen des Systems durch die Transformation abschätzen zu können.

Neben der Modellbildung und Simulation **ökosystemarer Zusammenhänge** gehören zu einem vollständigen Bild von *SuL* auch die **sozioökonomischen Entitäten** (vgl. Abschnitt 5.7.4) – denn beide Systeme sind in starkem Maße miteinander vernetzt:

„There are no separate systems. The world is a continuum” (MEADOWS & WRIGHT 2011).

Die Delphi-Studie in Abschnitt 6.5 lieferte exemplarische Erkenntnisse über die sozioökonomischen Entitäten im System *SuL* am Beispiel der OU Elstorf. Im Vergleich zur Modellbildung ökosystemarer Entitäten gibt es u.a. die folgenden Unterschiede:

- Soziale Systeme zeichnen sich durch eine hohe Komplexität aus. Das Ordnungsprinzip technischer Systeme sind die Naturgesetze, bei sozialen Systemen ist es Sinn (Abschnitt 5.4.1).
- Menschliche Handlungen können nur bedingt modelliert werden „und ihre Regeln bleiben stets prinzipiell labil, sie sind offen für mannigfaltige Kontingenzen“ (MAASER 2015).

An Stelle der Delphi-Studie tritt das in der Handlungsempfehlung R genannte Basismodell, welches gemeinsam mit wesentlichen Akteur:innen und Betroffenen im Rahmen des Scoping-Termins erstellt wird.

Denkbar und möglich ist es, zusätzlich eine Sozialraumanalyse (vgl. Abschnitt 6.7.2) durchzuführen, sofern eine Maßnahme den „sozialen Nahraum[...] bspw. eines Dorfes, einer Gemeinde oder eines Stadtteils [betrifft]“ (SPATSCHECK & WOLF-OSTERMANN 2016).

Neben den Informationen zu den Schnittstellen sind Daten und ggf. vorhandene qualitative und quantitative Modelle von vorkommenden Arten, Biotopen, sozialen Gemeinschaften etc. notwendig für die Modellbildung von *SuL*. Fortlaufend sollten relevante **Forschungsergebnisse** für das System *SuL* mit seinen Entitäten, Wechselwirkungen, Bifurkationsstellen und Rückkopplungen auf einer Plattform öffentlich zugänglich gemacht werden.

Dieser Ansatz wird durch den Vorschlag der *Reformkommission Bau von Großprojekten* in ihrem Endbericht gestützt, wonach zunehmend „digitale Methoden [...] im gesamten Projektverlauf verstärkt [...] genutzt werden sollen, um] einen friktionslosen Bauablauf durch Simulationen

erheblich [zu] unterstützen“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015).

### **Handlungsempfehlung D – Teilmodelle erstellen und in einer Datenbank erfassen**

Es wird empfohlen, analog zur UVP-Datenbank der Bundesländer eine **Datenbank** einzurichten, in welcher die folgende Informationen öffentlich zugänglich gemacht werden:

- qualitative Modelle der in Deutschland vorkommenden Lebensraumtypen nach Anhang I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie),
- qualitative und quantitative Populationsmodelle der besonders geschützten Arten in Deutschland nach Anhang II der FFH-Richtlinie sowie nach der EU-Vogelschutzrichtlinie,
- Liste der heimischen FFH-Arten der Anhänge IV und V der FFH-Richtlinie,
- Simulationsergebnisse quantitativer Modelle,
- Definition von Schlüsselarten verschiedene Biotoptypen(komplexe) und relevante Forschungsergebnisse hierzu in Deutschland,
- Ergebnisse von Sozialraumanalysen in Verbindung mit Infrastrukturprojekten,
- Basismodelle aus bisher bearbeiteten Vorhaben,
- Ergebnisse der vorhabenbezogenen Analysen des/der Systemarchitekt:in.

In einem breit angelegten **Forschungsvorhaben** sollten prototypische Modelle entwickelt werden, um diese für die Verwendung von Vorhaben bereitzustellen. Zudem sollen in einer Kombination aus der experimentellen Methode mit Modellierungsansätzen Schlüsselarten in Deutschland identifiziert werden, damit diese in der Modellbildung von *SuL* besonders berücksichtigt werden können.

## Über- und Untersysteme betrachten

In Abschnitt 3.8 wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, bei der Planung von *SuLT* die **über- und untergeordneten Systeme** nicht zu vernachlässigen, da diese häufig in weitere Systeme eingebunden sind (vgl. HABERFELLNER 2012, MAIER 2009). Das Modell des *Tragwerks* einer Brücke kann als System betrachtet werden. Es besteht aus mehreren Teilen, die miteinander verbunden sind und eine Funktion erfüllen: die Lasten in den Baugrund abzuleiten. Das Tragwerk ist jedoch nur ein Teil des übergeordneten Systems der Brücke. Diese wird aus verschiedenen Systemaspekten betrachtet, u.a. der Effizienz, der Form oder des Verhaltens (vgl. Abschnitt 3.5). Das System *Brücke* ist wiederum Teil des übergeordneten Systems *Straße*, welches Teil des *Straßennetzes*, aber auch des Systems *SuL* ist. Für die Verantwortlichen eines Systems sind die jeweils untergeordneten Systeme Komponenten, also Systemteile, welche durch **Dekomposition** festgelegt und später in der **Rekomposition** wieder zusammengeführt werden (vgl. MAIER 2009).

Einzelne Komponenten (Teilsysteme) wirken auf die übergeordneten Systeme, da sie in ihrer Gesamtheit **Emergenz** herstellen (vgl. CRAWLEY et al. 2016). Dies gilt auch im umgekehrten Fall. Falls die Brücke beispielsweise als Bogenbrücke anstelle eines Gerberträgers ausgeführt werden soll, dann hat dies Einfluss auf die einzelnen Komponenten und auch auf das Tragwerksmodell.

Dem steht die Notwendigkeit der Dekomposition zur Verringerung der Komplexität gegenüber und verweist gleichzeitig auf die Notwendigkeit des Transzendierens (vgl. Abschnitt 3.8). Demnach schwimmt auch *SuL* nicht wie ein einzelnes Fetttügelchen in der Suppe, sondern ist **im Gesamtzusammenhang** mit anderen Systemen bzw. Komponenten zu betrachten (vgl. LUHMANN 2015, HABERFELLNER 2012).

Alle Systeme werden auch unter den **Zweck- und Effizienzaspekten** betrachtet (vgl. Abschnitt 3.5). Diese Aspekte können Teil des **Ziel-**

**systems** des jeweiligen Systems oder dessen übergeordneten Systems sein. Im Abschnitt 4.5 wird ein Zielsystem vorgestellt, welches **die gesellschaftlichen Oberziele Umweltschutz, Freiheit, Wohlstand und Sicherheit** beinhaltet. Diese sind als abgeleitete Ziele und Lösungsstrategien im BVWP 2030 eingegangen und wirken somit auf die einzelnen Vorhaben. Auch wird auf die Sustainable Development Goals (**SDG**) verwiesen und beispielsweise mit dem Indikator 15.1 *Artenvielfalt und Landschaftsqualität* bezüglich des Bestands repräsentativer Vogelarten in verschiedenen Hauptlebensraum- und Landschaftstypen ein Indexwert von 100 bis zum Jahr 2030 als Ziel angestrebt (vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT 09.03.2022).

Die **SDG** bedürfen daher ebenso wie die gesellschaftlichen Oberziele einer Durchgängigkeit, welche alle Systemebenen durchdringt.

In der Analyse des Systems *SuL* der OU Elstorf in Abschnitt 6.7.2 wurden mehrere **Rückkopplungen** identifiziert. Diese wirken in unterschiedlich langen Zeiträumen. Beispielsweise wirkt die negative Rückkopplung **B3** über die Auswirkungen, die Belastung Betroffener, Zielkonflikte und Widerstände mit der damit verbundenen verringerten gesellschaftlichen Akzeptanz zu einem politischen Umdenken. Komplexe Systeme sind auch durch die verzögerte Wahrnehmung der Auswirkungen der Handlungen gekennzeichnet (vgl. LANGE 2015, MEADOWS & WRIGHT 2011).

Die Modellbildung wird damit zu einem wesentlichen Messinstrument der Zielerfüllung, da die **tatsächliche Zielerfüllung** aufgrund der dynamischen Komplexität erst mit großer Verzögerung gemessen werden kann. Eine Regelung des Systems nur auf dieser Basis kommt daher immer zu spät. Dennoch sollte dieser übergeordnete Regelkreis implementiert werden, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass Modelle die tatsächlichen Folgen des Handelns zeigen: **Modelle sind nicht die Realität** (vgl. MAIER 2009).

Nur durch eine **Evaluation der Ziele am realen Gegenstand** können auch übergeordnete Zielerfüllungsgrade tatsächlich überprüft werden

und der Einfluss der Transformation auf diese Ziele in Entscheidungen einbezogen werden.

Eine Regelung von über- und untergeordneten Maßnahmen bedarf im komplexen Umfeld von *SuLT* zweier Regelkreise:

- der Modellbildung und Simulation im Rahmen des Modells zur Ermittlung des voraussichtlichen Systemtransformationserfolgs und
- Evaluationen der Zielerreichung am realen Gegenstand.

#### **Handlungsempfehlung V – Etablieren des Vorgehens mittels des V-Modells**

Die Transformation soll eingebunden werden in ein übergeordnetes V-Modell. Mit diesem Vorgehensmodell können übergeordnete und systemübergreifende Rückkopplungen des Systems *SuL* berücksichtigt werden. Die Zielevaluation soll gemäß Handlungsempfehlung E stattfinden.

Abbildung 138 illustriert vereinfacht das **V-Modell** mit Fokus auf die Planungsstufe der Vorplanung. Die Systeme werden vom übergeordneten System bis zu den Detailsystemen in ihre Untersysteme und wiederum deren Untersysteme dekomponiert. Durch die digitale Rekomposition mittels der Modellbildung und Simulation wird der voraussichtliche Systemtransformationserfolg ermittelt (vgl. Abschnitt 4.10 sowie die Handlungsempfehlungen A und R). Dieser Schritt stellt die **erste Zielüberprüfung** dar. Die gewonnenen Erkenntnisse gehen in die Abwägung ein (vgl. Abschnitt 4.8). Mit der Linienbestimmung wird das Ordnungsprinzip des Systems *SuL* festgelegt (vgl. Abschnitt 3.4). Nach der baulichen Umsetzung von *SuL*, der Rekomposition (Systemintegration), werden, soweit möglich, in einer **zweiten Zielüberprüfung** die Ziele für *SuL* erneut auf deren Zielerreichung geprüft. Da Wirkungen erst mit zeitlicher Verzögerung auftreten können, soll in der





von Modellen und zeigt damit nur ein voraussichtliches Ergebnis. Der tatsächliche Erfolg muss jedoch am Gegenstand der Transformation gemessen werden, denn „Erfolg [ist] ein Resultat von Handlungen“ (GESSLER 2014).

SCHLIPF (2022) untersucht in ihrer Dissertation die Auswirkungen des Klimawandels auf die Schutzgüter im urbanen Umfeld. Sie verweist auf die damit verbundene Unsicherheit des Wissens über die voraussichtlichen Folgen. Zudem geht sie auf mögliche Lösungen ein, wie die Betrachtung der Klimafolgen in die Umweltprüfung einfließen kann. Damit verbunden ist die Evaluation der Folgen städtebaulicher Vorhaben. Sie verweist jedoch darauf, dass „diese Rückkopplung [...] aktuell nur in Ausnahmen statt[findet]“ (SCHLIPF 2022).

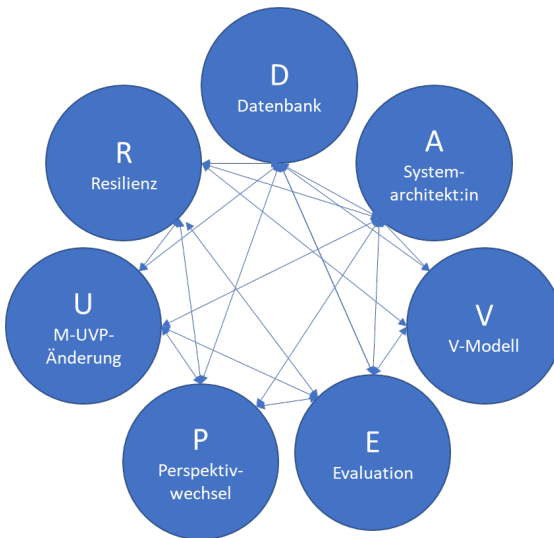
Das Modell zur Bestimmung des **Systemtransformationserfolgs** geht nur auf den **voraussichtlichen Erfolg** ein und nicht auf den im Nachgang gemessenen **tatsächlichen Erfolg**. Dies ist jedoch notwendig, um das Modell und die darin getroffenen Annahmen zu überprüfen. Diese Informationen besitzen eine besondere Relevanz für die Annahmen bei der Entwicklung von Modellen künftiger Vorhaben. Sie sollten als **lessons learned** in zukünftig noch zu planende Projekte einfließen (vgl. GESSLER 2014).

#### **Handlungsempfehlung E – Evaluation der Maßnahmen für Natur- und Umweltschutz sowie für die sozioökonomischen Entitäten**

Die im Zuge der Systemtransformation getroffenen Maßnahmen zur Verbesserung oder zur Erhaltung der Entitäten im Systemdimensionskreis sollen wie im V-Modell (vgl. Handlungsempfehlung V) dargestellt evaluiert werden. Die Ergebnisse der Evaluation sollten über eine Datenbank (vgl. Handlungsempfehlung D) den zugehörigen Modellen zugeordnet und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Die Handlungsempfehlungen zielen alle darauf ab, das Ordnungsprinzip des *P-Systems* zu ändern. Dies stimmt mit der These in Abschnitt 3.8 sowie mit den Ergebnissen der Delphi-Studie in Abschnitt 6.5 überein, wonach die Probleme und deren Lösungen im sozialen Kontext zu suchen sind. Das Zielsystem dagegen ist in sich konsistent, für dieses wird daher kein Handlungsbedarf gesehen.

Die Handlungsempfehlungen können jedoch nicht isoliert voneinander betrachtet werden, sondern es kann davon ausgegangen werden, dass der Systemtransformationserfolg durch die Kombination emergent gesteigert wird (*Abbildung 139*).



*Abbildung 139: Zusammenwirken der Handlungsempfehlungen (eigene Darstellung).*

## 7.2 Reflexion

### Forschungsfrage

Mit den Handlungsempfehlungen werden Wege aufgezeigt, wie mit der Komplexität umgegangen werden kann. Zudem stehen einzelne Empfehlungen im Einklang mit den Forderungen aus dem Endbericht der Reformkommission für den Bau von Großprojekten (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR 2015), deren Aussagen sich in der vorliegenden Arbeit in diesen Punkten weitergehend begründen und beschreiben ließen:

- Planen in interdisziplinären Teams
- Planung vor Baubeginn
- Risiken erkennen und managen
- Anwendung von digitalen Methoden

Einen Schwerpunkt der Arbeit bildet die Frage nach dem Wissen über die Umwelt und über die Folgen des Handelns. „Je abstrakter und unanschaulicher das Verhältnis zwischen handelnden Subjekten und zeitverzögert eintretenden Folgen ist, desto bedeutungsvoller ist die Funktion des Wissens“ (MAASER 2015).

Die Berücksichtigung der in dieser Arbeit entwickelten Handlungsempfehlungen in der Planungspraxis kann dieses Wissen erhöhen und dazu beitragen, dass zukünftige Entscheidungen sicherer getroffen werden können. Erst dies macht Verantwortung in der Planung möglich, denn „[o]hne dieses Wissen ließe sich nicht sinnvoll von Verantwortung sprechen“ (MAASER 2015).

### Forschungsergebnisse

Zentrales Ergebnis des Forschungsvorhabens ist das **Konzept des multitranszendierenden, alle Systemaspekte umfassenden Umgangs mit der Komplexität**. Es dient dem **Ziel, den Erfolg der**

## **Transformation des Systems SuL unter Berücksichtigung des kategorischen Imperativs nach KANT (2019) zu steigern.**

Das Konzept ist **multitranszendierend**, da es die sozialen, technischen, abiotischen und biotischen **Systemdimensionen** berücksichtigt. Damit geht es über sektorale Ansätze hinaus, beispielsweise des Modellierungskonzepts nach OBERGRIEBER (2017), welches sich an der Methode des Building Information Modeling (BIM) orientiert und dabei insbesondere auf die **technische** Systemdimension fokussiert. Ferner ist das Konzept deutlich umfangreicher angelegt, als dies durch die Systemtheorie nach LUHMANN (2015) geschieht, welcher allein die komplexen sozialen Systeme im Blick hat. KRON (2002) stellt zwar verschiedene Ansätze vor, soziale Systeme zu modellieren, welche jedoch in der sozialen Systemdimension verbleiben, ohne diese mit den weiteren Dimensionen zu verbinden.

ABU EL ATA (2016) und BLISS (2000) untersuchen Wege, um mit der Komplexität von **Unternehmensprozessen** umzugehen, und betrachten dabei zumindest die beiden sozioökonomischen Systemdimensionen. In der Natur des Gegenstands liegen allerdings nicht die ökosystemaren Systemdimensionen.

Deutlich weiter gehen ANDERS & BOTT (2016) und untersuchen **urbane Räume** als System. Sie stützen ihre Forschung u.a. auf der Sensitivitätsanalyse nach VESTER (1999) und beziehen damit alle Systemdimensionen in ihre Überlegungen mit ein. Ein wesentliche Unterschied zwischen der Methode nach VESTER (1999) und der Systems-Dynamics-Methode nach FORRESTER (2013) besteht darin, dass letztere die Interdependenzen mittels Differenzialgleichungen ausdrückt, während die Methode nach Vester hierzu die *fuzzy logic* verwendet und damit die Beziehung zwischen zwei Variablen **unscharf numerisch** bewertet (vgl. BOTHE 1995). Die Systems-Dynamics-Methode bietet hingegen die Möglichkeit, die Auswirkung einer Veränderung der Entität A auf die Ausprägung der Entität B **quantitativ** zu beziffern, während die *fuzzy logic* dies qualitativ ausdrückt. Es kann angenommen werden, dass quantitative Werte über die Auswirkungen eines

Eingriffes in das System *SuL* bei Fachplaner:innen und weiteren Akteur:innen eine höhere Akzeptanz besitzen, als dies bei unscharfen Werten der Fall sein dürfte.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ermöglichen zusätzlich die systemische Betrachtung des Gegenstands *SuL* über mehrere **Systemebenen**. Damit besteht Anschlussfähigkeit an die Teilsysteme von *SuL* sowie an übergeordnete Systeme, beispielsweise im Rahmen der Raumplanung oder der Überprüfung der Auswirkungen eines Vorhabens auf die SDGs. Mithin werden auch **räumliche Grenzen** transzendiert, indem Akteur:innen das Gesamtsystem holistisch betrachten, anstatt sich auf die räumliche Verortung ihres sektoralen Planungs- oder Interessensgegenstands zu beschränken. Die Betrachtung der Wirkungen eines Vorhabens auf die unterschiedlichen Entitäten – und dies auf mehreren Systemebenen – bezieht **unterschiedliche Zeiträume** in die Planung ein.

Neben den Systemdimensionen werden in Abschnitt 3.5 die **Systemaspekte** nach MAIER (2009) vorgestellt und das System *SuLT* im Rahmen der vorliegenden Arbeit aus diesen Blickwinkeln betrachtet. Mittels der Systems-Dynamics-Methode kann das *Verhalten* des Systems qualitativ im Feedback-Loop-Diagramm und quantitativ in der Simulation betrachtet werden. Einzelne Variablen können darin analysiert und die voraussichtliche *Effizienz* von Maßnahmen (Policy Tests) überprüft werden. Der Erfolg der Systemtransformation wird mittels eines eigenen Modells bestimmbar gemacht und kann durch Modellbildung und Simulation überprüft werden. Dies hebt auf den *Zweckaspekt* des Systems ab.

ANDERS & BOTT (2016) verweisen auf die Schwierigkeiten, die mit der Gewinnung der benötigten Daten für die Modellbildung und Simulation des *Systems Stadt* einhergehen. An dieser Stelle setzt die **Handlungsempfehlung D** an, indem angeregt wird, auf der Grundlage von Forschungsergebnissen und abgeschlossenen Systemtransformationen eine öffentlich zugängliche Datenbasis zu generieren. Dieser Teil-

bereich des Konzeptes besitzt strukturelle Ähnlichkeiten mit der Methode des Building Information Modeling (BIM), welche das Ziel verfolgt, digitale Informationen im Lebenszyklus von Bauwerken verfügbar zu machen (vgl. BORRMANN et al. 2015). Die Autoren betrachten mit der geometrischen Modellierung sowie der Daten- und der Prozessmodellierung das Bauwerkssystem unter den Aspekten der Form, der Daten und der Prozesse. Im Vergleich zum vorliegenden Konzept vernachlässigen sie jedoch insbesondere den Zweck- und den Verhaltensaspekt sowie die autopoietischen Systemdimensionen (soziale und biotische Systemdimensionen). Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass BIM bei der Betrachtung des **Formaspekts** eines Bauwerks der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methode überlegen sein wird. Durch den Schritt des Transzendierens verweist der Perspektivwechsel mit *SuL* auf einen übergeordneten und in der Komplexität gesteigerten Betrachtungsgegenstand.

Ein wichtiges Werkzeug für den **Umgang mit der Komplexität** bildet das Vorgehen der Dekomposition mit der anschließenden Rekombination (vgl. CRAWLEY et al. 2016, MAIER 2009, SCHNEEWEIß 1992, SULTANOW 2010). Die Autor:innen beziehen sich insbesondere auf technische und sozioökonomische Systeme. SCHLEICHER (2012) untersucht Möglichkeiten, um mit der Komplexität im Rahmen der Ermittlung von Baupreisen umzugehen, und greift dabei auf die Dekompositionsmethode zurück. Dabei fokussiert sie auf organisatorische und prozessuale Aspekte.

VESTER (2015) fragt danach, woraus ein zu betrachtendes System besteht. Seine Kriterien weisen eine hohe Übereinstimmung zu den Entitäten im Systemdimensionskreis auf. Dennoch werden darin gerade die biotischen **Schutzgüter** nicht zwingend erfasst. Die Entitäten des Systemdimensionskreises repräsentieren das System *SuL* und weisen gegenüber den technisch orientierten Dekompositionen oder dem Vorgehen nach VESTER (2015) eine deutlich höhere Diversität auf.

Die Ermittlung des Erfolges einer Infrastrukturmaßnahme beschränkt sich nach dem vorliegenden Konzept nicht auf die im **Projektmanagement** übliche Erreichung der Ziele des „magischen Zieldreiecks“ *Kosten*, *Termine* und *Leistung* (vgl. GESSLER 2014), sondern verfolgt einen neuen Weg. Mit dem Begriff des **Systemtransformationserfolgs** wird das Konzept des Transzendierens konsequent auch auf die Bestimmung des Erfolgs übertragen. Dieser bezieht sich nicht auf einen eingegrenzten Teilbereich, sondern auf das gesamte System *SuLT*. Ferner wird nicht allein der Gegenstand der Erfolgsermittlung verändert. Auch **Umfang** und **Zeitpunkt** werden ausgedehnt. Dies geschieht durch Implementieren des **V-Modells** als Vorgehensmodell. Dieses Vorgehen wird einerseits in der Softwareentwicklung angewendet, andererseits bei der Fahrzeugentwicklung, indem die Anforderungen an die einzelnen Fahrzeugkomponenten hierarchisch dekomponiert werden und die Zielerreichung, in umgekehrter Reihenfolge, simulationsgestützt bis zur Ebene des gesamten Fahrzeugs überprüft wird (vgl. FONTANA 2021, HABERFELLNER 2012). Im Gegensatz zur Fahrzeugentwicklung berücksichtigt die vorliegende Arbeit auch die sozialen, abiotischen und biotischen Systemdimensionen. Damit wird erstmalig das in der Fahrzeugentwicklung erprobte Vorgehen auf den komplexen Gegenstand *SuL* übertragen.

Werden die Handlungsempfehlungen V und E angewendet, dann wird der Erfolg auch zu unterschiedlichen **Zeitpunkten** bestimmt. Dies scheint nicht nur sinnvoll, sondern auch notwendig, berücksichtigt man die Aussage von RITTEL (2013), wonach es sich bei der Lösung sozioökonomischer Probleme um eine one-shot-operation handelt und sich die Auswirkungen erst mit großer zeitlicher Verzögerung bemerkbar machen können. Mit dem V-Modell und der Evaluation wird der Systemtransformationserfolg auf der Projekt- bzw. *SuLT*-Ebene in drei Regelkreise integriert: (i) dem voraussichtlichen Erfolg im Rahmen der Modellbildung und Simulation (digitale Rekomposition), (ii) dem unmittelbar nach der Rekomposition erkennbaren Erfolg sowie (iii) dem in der späteren Evaluation gemessenen Erfolg. Durch die



Einbeziehung über- und untergeordneter Systeme kommen noch zahlreiche weitere Regelkreise hinzu.

Die **Resilienz** des Systems *SuLT* wird zur maßgeblichen **Regelgröße** in diesen Regelkreisen. Sie löst die Problematik komplexer, mehrdimensionaler Zielsysteme, indem sie das bestimmende Mussziel wird. Die Resilienz wird durch die Anwendung des **kategorischen Imperativ** von KANT (2019) als moralisches Handlungsprinzip entwickelt. In der gegenwärtigen Planungspraxis wird das ethische Konzept des Utilitarismus umgesetzt, beispielsweise als Nutzwertanalyse, und bildet für die Planenden ein Instrument in der Abwägung mit den in Abschnitt 4.8 genannten möglichen Defiziten (vgl. FÜRST & SCHOLLES 2008). Durch die Annahme und Anwendung der **Maxime der Resilienz**, bekommen die Akteur:innen ein scharfes Messer in die Hand, um kritische Planungsvarianten frühzeitig auszuschließen.

Obschon gerade durch das Zusammenwirken aller Handlungsempfehlungen größtmögliche Emergenz erwartet werden kann, ist es dennoch denkbar, zunächst nur einzelne Empfehlungen umzusetzen. Gerade eine solche gestufte Realisierung könnte einen Beitrag für die Akzeptanz des Perspektivwechsels leisten.

Nichtsdestotrotz erteilt das Konzept keinen Rat darüber, was gut oder schlecht ist. Die Ergebnisse sind Sachurteile und müssen von den Akteur:innen um Werturteile ergänzt werden. Je eingehender das Verhalten der verschiedenen Systeme mit ihren Wechselwirkungen erforscht ist, desto sicherer werden diese Sachurteile und desto besser können die Auswirkungen eines Vorhabens auf das Gesamtsystem abgeschätzt werden.

### Zwischenfazit

Eine vergleichbare Vorgehensweise existierte bislang nicht in Wissenschaft und Praxis. Sie bietet damit erstmalig die Möglichkeit, die Transformation des dynamisch komplexen Systems *SuL* multitranszendierend und alle Systemaspekte beachtend zu untersuchen. Dieses geschieht mit dem Ziel einer erfolgreicherer Systemtransformation.

## Methodendiskussion

### Systemorientiertes Vorgehen

Der Ausgangspunkt der Untersuchungen bildet ein systemorientiertes Vorgehen nach HABERFELLNER (2012). Dies setzt jedoch die Annahme voraus, dass in diesem Kontext Lösungen für das Problem gefunden werden können. Nach RITTEL (2013) bestimmt aber gerade die Sicht auf ein Problem bereits dessen Lösung. „Die Formulierung eines böartigen Problems *ist* das Problem“ (RITTEL 2013).

Demnach existieren auch andere Ansätze zur Lösung der erkannten Probleme bei der Planung und Umsetzung naturschutzrelevanter Infrastrukturprojekte, beispielsweise die im Endbericht der Reformkommission genannte Stärkung der Transparenz und Kontrolle, die Anwendung der Vergabe an den wirtschaftlichsten (und damit nicht dem preiswertesten) Bieter oder die partnerschaftliche Projektzusammenarbeit. Ebenso ist es denkbar, die Phasen vor der Planungsstufe der Vorplanung zu betrachten und Optimierungsmöglichkeiten in der Planungsstufe der Bedarfsplanung zu erforschen. In Abwägung der zu erwartenden Ergebnisse scheint jedoch der gewählte Weg des Vorgehens als der erfolgsversprechendere. Eindimensionale Ansätze wie die vordergründige Wahl des preiswertesten Bieters blenden die Komplexität komplett aus und können schon deshalb keine adäquate Lösung bieten, weil sie die Umweltwirkungen und -kosten nicht berücksichtigen. Die am Beispiel der Linienbestimmung entwickelte Vorgehensweise lässt sich auch auf andere Planungsschritte wie die Bedarfsplanung oder die Ausführungsplanung übertragen, da hier die Komplexität der Aufgabe vergleichbar ausgeprägt ist.

## **Lösung in der sozialen Systemdimension**

Es wurde dargelegt, dass aufgrund der Eigenschaften der Systemdimensionen und der strukturellen Koppelung zwischen dem System *SuLT* und dem *P-System* ein Lösungsbereich im Ordnungsprinzip der sozialen Systemdimension liegt. Ebenso wurde beschrieben, dass sich gerade soziale Systeme durch ein hohes Maß an Komplexität auszeichnen (vgl. KRIEGER 1998). Während das Verhalten einer Maschine weitgehend vorhergesehen werden kann, ist dies bei sozialen Systemen ungleich schwerer, da das „komplexe oder auch eigensinnige Verhalten der Adressat:innen nicht vorhergesagt werden [kann] und [...] regelmäßig abhängig [ist] von den individuellen Eigenheiten, Empfindungen und Wahrnehmung einer Person sowie Zufälligkeiten“ (MAASER 2015). Dieses Maß an Unsicherheit wird auch durch die Anwendung der Handlungsempfehlungen nicht aufgelöst, so dass hier weiterer Forschungsbedarf besteht.

## **Theoriebasierte Exploration statt empirischem Vorgehen**

Methodisch gesehen wurde in der vorliegenden Arbeit sehr stark theoriebasiert und verbal-argumentativ vorgegangen. Alternativ wären auch andere explorative Verfahren möglich gewesen, etwa Befragungen, Inhaltsanalyse von Projektunterlagen und Beobachtungen von Planungsprozessen. Ein solches Vorgehen wäre aber mit verschiedenen Schwierigkeiten konfrontiert gewesen: ein nicht leistbarer hoher Zeitaufwand, welcher den zeitlichen Rahmen einer Promotion bei weitem gesprengt hätte; eine schwierige Ansprache und Einbeziehung der relevanten Akteur:innen, die aufgrund ihrer alltäglichen Arbeitsbelastung nicht oder nur sehr schwer greifbar wären; mangelnde öffentliche Zugänglichkeit aller relevanten Planungsunterlagen

## **Kritik am Problemlösungszyklus (PLZ) nach HABERFELLNER (2012)**

Die Systemanalyse ist Teil des Problemlösungszyklus. Dabei können verschiedene methodischen Vorgehensweisen gewählt werden:

- Die systemorientierte Betrachtung wurde im Rahmen dieses Vorhabens gewählt, weil sie für die besonders komplexe Aufgabenstellung am geeignetsten erschien.
- Die ursachenorientierte Betrachtung wurde nicht gewählt, weil das System *Straße und Landschaft* überaus komplex ist und bei komplexen Systemen kein „einfacher“ Ursache-Wirkungs-Zusammenhang besteht. Jede Ursache hat eine Ursache usw. – so dass eine Endlosschleife zu bearbeiten wäre. Diese Betrachtung ergibt keinen Sinn.
- Eine lösungsorientierte Betrachtung analysiert z.B. Benchmark-Projekte. Es ließe sich anhand dieser Methode analysieren, wie die Problematik in anderen Ländern gelöst und ggf. besser bearbeitet wird, um daraus Handlungsoptionen für das eigene Aufgabenfeld abzuleiten. Dieses Verfahren wurde nicht gewählt, da Projekte aufgrund der Definition nach DIN 69901 „Vorhaben [...] sind, die] im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet [...] sind], wie z.B. projektspezifische Organisation“. Aufgrund der hohen Komplexität von SuLT sind Projekte allgemein nur schwer vergleichbar – Projekte in Deutschland mit anderen Ländern zu vergleichen, schien aufgrund der jeweiligen Einzigartigkeit nur schwierig realisierbar.

### **Präskriptive statt deskriptive Entscheidungstheorie (ET)**

Die präskriptive Entscheidungstheorie gibt Handlungsempfehlungen, wie sich rationale Entscheider:innen verhalten sollten. Die deskriptive ET beschreibt, wie Entscheidungen in der Praxis getroffen werden (vgl. LAUX et al. 2014). Ein denkbarer Ansatz bei Anwendung der Entscheidungstheorie wäre es, abgeschlossene Projekte auszuwerten und zu untersuchen, wie, wann und warum welche Entscheidungen getroffen wurden. Gegen diese Methode spricht der langjährige Zeithorizont der Projekte. Viele Akteur:innen aus den ersten Jahren des

Planungsprozesses sind später nicht mehr greifbar, Planungsprozesse (und damit das Ordnungsprinzip des *P-Systems*) ändern sich, einschließlich ihrer rechtlichen Rahmenbedingungen und fachlichen Grundlagen und Kenntnisse. Dieses brachte ein:e anonyme:r Akteur:in im Vorhaben der Moselquerung (Rheinland-Pfalz) im Gespräch passend auf den Punkt: „Alles was vorher war, ist jetzt hinter dem Pflug. Es ist schwierig, an solche Daten heranzukommen.“

Weiterhin erscheint es fraglich, inwiefern Akteur:innen sich tatsächlich an der präskriptiven Entscheidungstheorie orientieren.

### **Gesetzesfolgenabschätzung**

Um eine fundierte Folgenabschätzung für die Regelungen des UVPG vornehmen zu können, fehlt die Kontrolle der tatsächlichen Folgen des UVP-Instrumentariums anhand des Erfolgs der Vorhaben in Bezug auf die einzelnen Schutzgüter. Eine solche Erfolgskontrolle in dem umfassenden Sinne, für die in der vorliegenden Arbeit methodische Grundlagen entwickelt wurden, anhand repräsentativ ausgewählter Vorhaben, existiert bisher nicht. Das gilt in besonderem Maße für das Schutzgut Wechselwirkungen nach § 2 UVPG. Aufgrund der Komplexität der Inhalte, welche in UVS zu analysieren und bewerten sind, und insbesondere in Bezug auf die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Schutzgütern, lässt sich kaum ein einfacher Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen einem § in der UVPG und dem tatsächlichen Erfolg in der Maßnahme auszumachen. Im Labor ließe sich eine abhängige und eine unabhängige Variable festmachen, wobei die intervenierende Variable durch den Versuchsaufbau minimiert werden kann. Doch wie soll dies bei einem derart komplexen Vorhaben geschehen, insbesondere wenn jedes Vorhaben ein Unikat ist? Hier besteht noch großer Forschungs- und Erprobungsbedarf, für dessen Bearbeitung die vorliegende Arbeit Grundlagen liefert.

## **Systems Dynamics statt aktorsbasierter Modellierung**

KRON (2002) verweist auf die Möglichkeit, soziale Systeme nach Luhmann zu modellieren. Hierzu ließe sich u.a. die Methode der aktorsbasierten Modellierung (ABM) einsetzen. Dies kann für einzelne, vor allem soziale Teilmodelle, sinnvoll sein. Das *SuL*-Modell könnte qualitativ als Feedback-Loop-Diagramm dargestellt werden und Teilmodelle können mit anderen Verfahren simuliert werden. Das Konzept ist in diesem Sinne anschlussfähig.

### **Bezug zu den Arbeiten von Vester**

Die Studien von Vester liefern wesentliche Impulse für die vorliegende Arbeit, es bestehen Überschneidungen und Parallelen. VESTER (2015) quantifiziert in seinen Teilmodellen jedoch nicht. Dies scheint jedoch für die Akzeptanz wichtig und kann ein differenzierteres Bild der Ergebnisse vermitteln. Hinzu kommt, dass die Modellierungssoftware von Vester finanzielle Investitionen erfordert, während Vensim PLE kostenfrei nutzbar ist. Vensim PLE ist leichter zu erlernen und macht keine starren Vorgaben, d.h. es ist flexibler einsetzbar.

### **Perspektiven des Arbeitsprozesses**

Ein besonderer Vorteil des Konzeptes und insbesondere des Einsatzes von Vensim PLE liegt darin, dass nicht alle Maßnahmen sofort umgesetzt werden müssen, sondern dass dies nach und nach geschehen kann. Somit kann das vorliegende Konzept problemlos und zunächst niederschwellig starten und sukzessive auf- und ausgebaut werden. Dies gilt auch für die Modellierung und Simulation, deren Detailtiefe in Abhängigkeit des Bedarfes und des erwarteten Nutzens gewählt werden können. Diese Tatsache kann eine breite Anwendung leichter fördern als der Ansatz eines starren Systems, welches vor seiner Anwendung zwingend umfangreicher Abstimmungen und Datenpflege bedarf, wie dies beispielsweise die Methode des Building Infor-

mation Modeling (BIM) erfordert. Dieses legt nahe, für die in der vorliegenden Arbeit behandelten Thematik die ausgearbeitete Vorgehensweise weiterzuverfolgen.

Wenn Vensim PLE breit eingesetzt wird und die Planer:innen ihre Modelle nach und nach in eine gemeinsame Datenbasis einpflegen würden, könnte die Schwarmintelligenz der Planer:innen genutzt werden: Nach dem Internet der Informationen und dem Internet der Dinge folgt das Internet der Modelle.

Kritisch könnte man fragen, warum mit dem Verfahren der Linienbestimmung in der vorliegenden Arbeit nur die frühen Planungsprozesse berücksichtigt werden und nicht zusätzlich die im Vorfeld dieser ablaufenden Planungsschritte. Vor der Vorplanung existieren jedoch keine Projekte, sondern nur Vorschläge. Erst mit dem Bedarfsplan als Anlage zum Fernstraßenausbaugesetz (FStrAG) werden Planungsaufträge erteilt, die sich leichter systematisch begleiten und steuern lassen. Die Forschungsfrage zielt zudem auf den Erfolg der Projekte ab, d.h. sie erfordert formal gesehen den Projektbegriff - auch wenn dieser im Rahmen der Arbeit später zum Systemumbau erweitert wird.

Aus diesen Gründen wird, wie hier realisiert, die Beschäftigung mit dem Planungs- und Realisierungsprozess beginnend mit der Vorplanung empfohlen. Ein späterer Start hingegen ist nicht zu befürworten, weil vor allem die frühzeitigen Änderungen von Gegenständen der Planung die größten Einsparungen bzw. Effekte zur Optimierung des Projekterfolgs erwarten lassen (vgl. MACLEAMY 2020).

Dennoch besteht sicherlich die Möglichkeit, auf der übergeordneten Ebene einen ähnlichen Zyklus zu durchlaufen (siehe Handlungsempfehlung V). Dies ist sogar sinnvoll und sollte im Rahmen einer Folgeforschung bearbeitet werden.

## **Anmerkung zur Veröffentlichungsstrategie**

Die vorliegende Dissertation konnte nicht als Aufeinanderfolge von Veröffentlichungen in einem generischen Prozess erstellt werden, da sie das Produkt einer rekursiven Betrachtung einzelner Elemente des gesamten Textes ist. Die Veröffentlichung der Paper 2 bis 4 ist daher zu einem späteren Zeitpunkt in einer gekürzten Form geplant. Das Paper 1 wurde in der Zeitschrift *Naturschutz und Landschaftsplanung* im Februar 2020 veröffentlicht (peer-reviewed).



## 7.3 Ausblick

### Weiterer Forschungsbedarf

Eine besondere Rolle nimmt das **Wissen** über die Ziele, die Handlungsmöglichkeiten und die Umstände ein. Die Handlungsempfehlungen zielen darauf ab, die Situation aus einer anderen Perspektive zu betrachten und so das *P-System* zu verändern. Mit der vorgeschlagenen Änderung des M UVP sollen die Auswirkungen der Vorhaben auf die einzelnen Schutzgüter in einen systemischen Zusammenhang mit dem Schutzgut Wechselwirkungen gebracht und damit fundierter als bisher bearbeitbar werden. Daraus wird ein Zugewinn des Wissens über die voraussichtlichen Wirkungen bei gleichzeitiger Abnahme der Unsicherheit erreicht.

Für die Umsetzung der Handlungsempfehlungen besteht weiterer Forschungsbedarf:

- **Gesetzesfolgenabschätzung** von UVS aus anderen Planungsaufgaben, beispielsweise beim Ausbau der Strom-Transportnetze der Übertragungsnetzbetreiber zur Erreichung der Klimaziele Deutschlands. Die vorliegende Arbeit hat u.a. gezeigt, dass zumindest das Schutzgut Wechselwirkungen in UVS in Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur nicht adäquat bearbeitet wird. Es ist aufgrund der offensichtlichen methodischen Schwierigkeiten davon auszugehen, dass sich dieses für andere Planungsaufgaben ähnlich darstellt. Insofern wäre die Hypothese zu überprüfen, dass die vom Gesetzgeber intendierten Ziele in der Planungspraxis nicht erreicht werden. Sollte sich diese bewahrheiten, bedürfte es vor allem der Weiterentwicklung des methodischen Vorgehens. Die entwickelten Ansätze zur Bewältigung der Komplexität können hierfür hilfreiche Anregungen bieten.
- Ermittlung des **tatsächlichen Zielerreichungsgrads**, beispielsweise im Rahmen von Pilotprojekten. Hierzu bedarf es zunächst einer differenzierteren Zieldefinition im System

*Straße und Landschaft* als bisher üblich. Eine solche ist auch notwendig im Falle anderer landschaftsrelevanter Planungsgegenstände und sollte nicht allein den Planungsgegenstand einbeziehen, sondern den gesamten Wirkraum einschließlich der sozialen Aspekte aus systemischer Sicht. Sowohl bei der Definition der Ziele als auch der Zielindikatoren und der Erfolgskontrolle erscheinen methodische Weiterentwicklungen geboten. Aus den Ergebnissen sind *lessons learned* für die Planungspraxis abzuleiten, um breiten Eingang in die Planungspraxis zu finden.

- Prüfung der Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf die **Planungsstufe der Bedarfsplanung**. Bereits hier ist derzeit die Komplexität der Planungsaufgaben und der potenziellen Auswirkungen nicht ausreichend abgebildet. Die am Beispiel der Linienbestimmung entwickelten methodischen Bausteine sollten daher auch auf die allererste Planungsstufe übertragen und hinsichtlich ihrer Eignung überprüft und ggf. angepasst werden.
- Prüfung der Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf **weitere natur- und umweltschutzrelevante Vorhaben**. Landschaftsfunktionen und Ökosystemleistungen werden neben dem Straßenbau durch zahlreiche weitere Eingriffe und Landnutzungen verändert, beeinträchtigt und/oder gestört. Die definierte Funktion einer/eines Systemarchitekt:in im Planungsprozess, welche:r die Akteur:innen hinsichtlich notwendiger deduktiver Ergänzungen der Teilmodelle und im Ablauf des gesamten Planungsprozesses berät, sollte sich daher in vielerlei andere Handlungsfelder übertragen lassen. Hier besteht ein überaus umfangreicher Forschungsbedarf, welcher entscheidend zu einer Verbesserung von Prozessen zur nachhaltigen Entwicklung beitragen könnte.
- Entwicklung **prototypischer Modelle** der in Deutschland vorkommenden **Lebensraumtypen** nach Anhang I der Fauna-

Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie), der besonders **geschützten Arten** in Deutschland nach Anhang II der FFH-Richtlinie sowie der **heimischen FFH-Arten** der Anhänge IV und V der FFH-Richtlinie. Das kohärent zu entwickelnde europäische Schutzgebietsnetz und der Schutz der relevanten Arten weisen, wie die nationalen Berichte belegen, noch erhebliche Defizite auf. Eine entscheidende Ursache hierfür ist in der fehlenden systemischen Betrachtung der Schutzgüter zu vermuten. Dieses ist auch im Kontext der Bearbeitung dieser Schutzgüter im Rahmen von Großprojekten der Verkehrsinfrastruktur deutlich geworden. Auch hier kann die Methodenentwicklung vorliegender Arbeit Anregungen liefern, die sowohl die Berücksichtigung der FFH-Schutzgüter in Verkehrsplanungen als auch die Entwicklung effektiverer Schutz- und Entwicklungskonzepte für die europäisch geschützten Arten und Lebensraumtypen fördern könnte.

- Entwicklung **prototypischer sozioökonomischer Modelle** i.V.m. Sozialraumanalysen. Soziale und ökonomische Aspekte spielen im Planungsgeschehen insbesondere bei Vorhaben der technischen Infrastruktur noch eine stark untergeordnete Rolle. Dieses ist u.a. vor dem Hintergrund der drei Säulen der Nachhaltigkeit wie der 17 Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen nicht mehr zeitgemäß. Zur Lösung dieses Defizits bedarf es intensiver sozioökonomischer Modelle für die verschiedenen Planungsanwendungen, die in die systemische Gesamtbetrachtungen integriert werden sollten.

### Normativ-organisatorische Änderungen

Neben der vertieften Forschung sind zur Umsetzung der Handlungsempfehlungen die folgenden normativ-organisatorischen Schritte erforderlich:

- Erweiterung des Merkblattes für die Umweltverträglichkeitsstudie (**M UVS**) in der Straßenplanung (M UVS) um die Schritte der **Modellbildung** (einschließlich Basismodell im Rahmen des Scoping) und ggf. **Simulation**,
- Überprüfung der **Resilienz des Systems SuL** im Prozess als Maxime anhand des Modells zur Ermittlung des Systemtransformationserfolgs,
- Initiierung und Begleitung des **fachlichen Diskurses** zur Annahme der Maxime der Resilienz des Systems *SuLT*,
- Implementierung der Rolle des/der **Systemarchitekt:in** in den Planungs- und Vergabeprozessen sowie Evaluierung deren/dessen Wirkungen,
- Einrichtung der **Datenbank** gemäß Handlungsempfehlung D, Teilmodelle zu erstellen und in einer Datenbank zu erfassen,
- Übernahme des V-Modells als **Vorgehensmodells in die Planungsstufe der Vorplanung** sowie in die Prozesse der über- und untergeordneten **Systemebenen**,
- Implementierung der **Zielevaluationen** gemäß Handlungsempfehlung E, der Evaluation der Maßnahmen für den Natur- und Umweltschutz sowie für die sozioökonomischen Entitäten.

Es ist zu erwarten, dass die Umsetzung dieser Handlungsempfehlungen

- das Wissen über die Umstände des Handelns und damit über die Folgen des Vorhabens innerhalb und außerhalb des Systems erhöht,
- das Wissen über die Ziele mittels des Mussziels der Resilienz steigt, insbesondere
- da Ziele für die Akteur:innen eine Verbindungsfunktion erfüllen (vgl. GESSLER 2014),

- den Akteur:innen ein Werkzeug zur Berücksichtigung der Wechselwirkungen an die Hand gibt und
- die Umweltbaubegleitung ein weiteres Instrument erhält.

Damit können die Handlungsempfehlungen einen wesentlichen Beitrag zum Umgang mit der Komplexität naturschutzrelevanter Infrastrukturprojekte leisten, um damit den Erfolg der Systemtransformation in den einzelnen Vorhaben zu steigern. Mit Blick auf das **Volumen des Bundesverkehrswegeplans 2030** und die darin noch zu realisierenden Projekte kann der Nutzen bedeutsam sein, vor allem vor dem Hintergrund der vielfältigen potenziellen Übertragungsoptionen der Ergebnisse auf andere Handlungsfelder der Infrastrukturplanung und einer (nachhaltigen) Entwicklung von Kulturlandschaften bzw. deren Ausschnitten insgesamt.

Dennoch ist zu beachten, dass „Lösungen für bösartige Probleme [...] nicht richtig oder falsch [sind], sondern gut-oder-schlecht“ (RITTEL 2013). Die Planenden stehen demnach vor der Aufgabe, **gute Lösungen** zu finden.

Selbstverständlich können, wie RITTEL (2013) ausführt, noch weitere Lösungen gefunden werden. Er weist darauf hin, dass „[j]ede Lösung eines bösartigen Problems [...] eine ‚one-shot-operation‘“ (RITTEL 2013) darstellt. Ob nicht doch eine gewisse Standardisierung in Abläufen und erzielten Ergebnis möglich ist, wäre durch die Anwendung der methodischen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit auf konkrete Planungsfälle im Vergleich zu überprüfen.

Die Planung naturschutzrelevanter Infrastrukturprojekte wird sich auch in der Zukunft in einem Spannungsverhältnis zwischen Komplexität, Irreversibilität und pragmatischer Suche nach guten Lösungen bewegen. Vor diesem Hintergrund soll diese Dissertation den Akteur:innen in der Planungspraxis eine Hilfestellung bieten und jenen an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis vor allem methodisch-instrumentelle Anregungen für weitergehende Forschungsaufgaben liefern. Die globalen und zugleich lokal abgebildeten Krisen

wie Biodiversitäts- und Klimakrise bieten eine Fülle an Herausforderungen, zu deren Lösung diese Arbeit einen Beitrag leisten sollte.

Wie schwierig und herausfordernd diese planerischen Aufgaben auch weiterhin bleiben, bringt abschließend dieses Zitat auf den Punkt:

*„Für jedes komplexe Problem gibt es eine einfache Lösung, und die ist die falsche“ (Eco 2000).*

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all denjenigen Personen meinen großen Dank aussprechen, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Eckhard Jedicke für die hervorragende Unterstützung bei der Umsetzung der gesamten Arbeit. Auch möchte ich Herrn Prof. Wolfgang Dickhaut meinen Dank aussprechen, der mir in allen Phasen des Projektes ein ausgezeichnetes Ratgeber gewesen ist.

Herrn Professor Häder möchte ich danken für die vielen hilfreichen Ratschläge im Zusammenhang mit der Durchführung der Delphi-Studie.

Vielen Studierenden habe ich zu danken für die Teilnahme an Pretests sowie den zahlreichen Gesprächen im Rahmen meiner Lehrtätigkeit. Viele Gedanken in dieser Arbeit wurden davon beeinflusst.

Meiner Frau Susanne und meinen Kindern Max, Tim und Nelli danke ich für ihre unendliche Geduld und Unterstützung während der Arbeit an dieser Dissertation. Ebenso möchte ich meiner Mutter danken, die mich immer ermutigt hat und meinem Vater, der in mir die wissenschaftliche Neugierde geweckt hat.

# Anhänge

## Anhang 1: Liste der untersuchten Vorhaben der UVP Studie

Neubau der BAB A 72 Chemnitz – Leipzig Abschnitt 3.2, Frohburg – Borna Anschlussstelle Frohburg, Sachsen (Bayern)

Ortsumgehung Usingen im Zuge der Bundesstraßen B 275/B 456, Hessen

A 1 Ersatzneubau BW 3430 Niedersachsen

A 66, Frankfurt am Main – Hanau Tunnel Riederwald mit dem Autobahndreieck Erlenbruch und der Anschlussstelle Borsigallee, Hessen

B107 Südverbund Chemnitz – A4, Sachsen

B 102 Ortsumgehung Schmerzke einschließlich Umbau Knotenpunkt B 102 / Prötzelweg / B 1, Brandenburg

A 45 Ersatzneubau Talbrücke Lemptal, Hessen

A 20 Neubau von Westerstede bis Drochtersen, Niedersachsen

A 8 AS Neunkirchen-Oberstadt - AK Neunkirchen Grundhafter Ausbau, Saarland

A 45 Ersatzneubau Talbrücke Volkersbach, Hessen

Ersatzneubau BW 3430 / A1, Brücke über die Ochtum (Verbreiterung), Bremen

A 1 AS Kelberg (B 410) - AS Adenau (L 10), Rheinland-Pfalz

A 66 Frankfurt am Main – Hanau



Tunnel Riederwald mit dem Autobahndreieck Erlenbruch und der Anschlussstelle Borsigallee, Hessen

B 207 Ausbau, Schleswig-Holstein

A 45, Ersatzneubau Talbrücke Heubach, Hessen

Neubau der B 44 - Ortsumgehung Groß-Gerau, Stadtteil Dornheim, Hessen

A 45, 6-streifiger Ausbau zw. den Talbrücken Marbach und Lützelbach, Hessen

A 57 zwischen der AS Krefeld-Gartenstadt und der AS Krefeld-Oppum, Nordrhein-Westfalen

B 111 Ortsumgehung Wolgast, Mecklenburg-Vorpommern

Autobahnkreuz A1/A57, Nordrhein-Westfalen

B2, Ortsumgehung Wellaune , Sachsen

B 39 Ausbau durch den Bau eines Rad-Gehweges zwischen Weidenthal und Neidenfels, Rheinland-Pfalz

A643, 6-streifiger Ausbau zwischen AD Mainz (A 60) und AK Wiesbaden-Schierstein, Rheinland-Pfalz

Um- und Ausbau der Tank- und Rastanlage Lichtendorf Süd, Nordrhein-Westfalen

A6 Heilbronn - Nürnberg Sechsstreifiger Ausbau zwischen dem AK Weinsberg und der Landesgrenze BW/BY Kupferzell – Ilshofen / Wolpertshausen (PA A6-4), Baden-Württemberg /(Bayern)

B257 Bitburg - Echternach, AS Messerich: Neubau einer kreuzungsfreien Anschlussstelle an K23 , Rheinland-Pfalz

B10, 3-streif. Ausbau im Bereich der Felswand bei Hauenstein, Rheinland-Pfalz

Anbau zweier Überholfahrstreifen an der B 414 bei Nister, Rheinland-Pfalz

B 75 Ersatzneubau Bauwerk 443 im Zuge der B 75 über die Varreler Bäche, Niedersachsen

B 270 / L502 an der Breitenau: Unfallschwerpunkt-Beseitigung, Rheinland-Pfalz

B 49: Ersatzneubau Pfaffendorfer Brücke, Rheinland-Pfalz

B 251 Stadt Kassel und DB Netz AG, Hessen

A 1 sechsstreifiger Ausbau AK Kamen (o.) – AS Hamm-Bockum/Werne (m.), Nordrhein-Westfalen

B 9: Worms-Nord, 4spuriger Ausbau zwischen Pfrimm und Bahn, Rheinland-Pfalz

B 50: Vierstreifiger Ausbau zwischen Bahnhof Zolleiche und Dienststellengrenze, Rheinland-Pfalz

B 7 Neubau, Verlegung nördlich Frohburg, Sachsen

B 422: Ausbau der Bundesstraße durch Anlegung eines Radwegs zwischen Welschbillig und Kordel; Rheinland-Pfalz

B 48: Ausbau zwischen Hochspeyer und Fischbach mit Rad- und Gehweg sowie eine Knotenpunktverbesserung, Rheinland-Pfalz

B 252 Ortsumgehung Dorfitter, Hessen

B27 Bodelshausen-Nehen, Baden-Württemberg

B 3, Südschnellweg Hannover, Niedersachsen

A4 Erneuerung, Hessen AD Kirchheim – AS Wildeck Obersuhl

B 215 Neubau der Brücke über die Weser, Niedersachsen

A 33 Neubau der A 33 von der A1 bis zur A33/ B 51n, Niedersachsen

B 238 Ortsumgehung Lemgo, Nordrhein-Westfalen

Endausbau Ortsumgehung A661 FFM, Hessen

Ausbau der B 50 - Geichlingen – Obergeckler, Rheinland-Pfalz

A 26 Neubau Bauabschnitt 5b, Niedersachsen

B 286 Schweinfurt - Gerolhofen -Enzlar, Anbau Überholstreifen, Bayern

B 16 Günzburg – Donauwörth Dreistreifiger Ausbau, Bayern

A 45 Erneuerung der Mainbrücke Mainflingen, Bayern

B 182 Ortsdurchfahrt Pretsch, Sachsen-Anhalt

B 20 Eggenfeld – Straubing, Bayern

A 26 Neubau Hafenpassage, Hamburg

## Anhang 2: Semantische Darstellung der Wirkketten

In der UVS identifizierte Wirkketten innerhalb des sozioökonomischen Teilsystems

Straße ⊢ Fläche → Flächenfunktion Wohnen

Straße ⊢ Fläche → Flächenfunktion Aufenthalt

Straße ⊢ unzerschnittene Fläche des Wohnumfelds → Mensch und Gesellschaft

Straße ⊢ Fläche → Freizeit- und Erholungsflächen → Mensch und Gesellschaft

Straße ⊢ Fläche → Fläche raumordnerisch festgelegter Vorranggebiete

Straße ⊢ nicht überbaute Fläche → Funktion des Bodens, z.B. Bodenfruchtbarkeit oder kulturelle Bedeutung

Straße ⊢ Fläche → Bodendenkmäler

Straße → Verkehr → Lärmeintrag in Kulturdenkmäler

Straße → Verkehr → visuelle Überprägung der Kulturdenkmäler

Straße ⊢ Fläche von Vorbehaltsgebieten zur Rohstoffgewinnung

In der UVS identifizierte Wirkketten innerhalb des ökosystemaren Teilsystems

Straße → Verkehr → Lärm ⊢ menschliche Gesundheit

Straße ⊢ Fläche → Flächenfunktion Freizeit und Erholung

Straße ⊢ unzerschnittene Fläche der Erholung → Mensch und Gesellschaft

Straße → Verkehr → Lärm ⊢ menschliche Gesundheit

Straße OU ⊢ Verkehr OD → Lärm ⊢ menschliche Gesundheit

Straße → Verkehr → Schadstoffeintrag in Siedlungsflächen ⊢ menschliche Gesundheit

Straße OU ⊢ Verkehr OD → Schadstoffeintrag in Siedlungsflächen ⊢ menschliche Gesundheit

Straße ⊢ unzerschnitten Biotopverbünde → Pflanzen

Straße → Verkehr → Lärm ⊢ Habitat Qualität für Vögel → Population Vögel

Straße ⊢ Fläche → Verlust von Laichgewässern → Population Amphibien

Straße ⊢ Fläche → Verlust von Lebensräumen → Population Reptilien

Straße ⊢ Fläche → Waldflächen → Population Fledermäuse

Straße ⊢ Fläche → Verlust von Habitat Bäumen → Population Eremit

Straße ⊢ Fläche → Verlust von Waldflächen → Population Brutvögel

Straße ⊢ Fläche → Verlust von Funktionsräumen → Population Brutvögel

Straße ⊢ Fläche → Verlust von Brutrevieren → Population Brutvögel

Straße → Fläche → Barrierewirkung ⊢ Möglichkeit des Austauschs zwischen Laichgewässern ⊢ Population Amphibien

Straße → Fläche → Barrierewirkung ⊢ Möglichkeit des Austauschs zwischen Lebensräumen ⊢ Population Reptilien

Straße → Fläche → Barrierewirkung ⊢ Möglichkeit des Austauschs zwischen Lebensräumen ⊢ Population Wolf

Straße → Fläche → Barrierewirkung † Möglichkeit des Austauschs zwischen Lebensräumen † Population Dachs

Straße → Fläche → Barrierewirkung † Möglichkeit des Austauschs zwischen Lebensräumen † Population Wild

Straße † Fläche → Fläche geschützter Biotope → verschiedene Arten

Straße † Fläche → Fläche geschützter Landschaftsbestandteile

Straße † Fläche → Fläche von Biotopen → verschiedene Arten

Straße † Fläche → FFH Lebensraumtypen → verschiedene Arten

Straße † unzerschnitten Biotopverbünde → verschiedene Arten

Straße → Verkehr → Nährstoffeintrag in Biotopen † Funktionsfähigkeit der Biotope → verschiedene Arten

Straße → Verkehr → Lärm † unverlärmt Fläche des VSG Moore bei Buxtehude → Lebensräume für Vögel → Population Vögel

Straße † Fläche von Laichgewässern → Lebensraum für Amphibien, z.B. Laubfrosch, Kammolch → Population Amphibien

Straße † Fläche → Lebensraum für Reptilien, z.B. der Zauneidechse → Population Reptilien

Straße † Fläche → Waldfläche → potenzieller Lebensraum für Fledermäuse

Straße † Fläche → Waldfläche → potenzielle Bruthabitate für Brutvögel

Straße † Fläche → Waldfläche → potenzieller Lebensraum für Fledermäuse

Straße → Verkehr → Verkehr in Austauschkorridoren zwischen Laichgewässern → Kollisionen † Population Amphibien, z.B. Laubfrosch

Straße → Verkehr → Verkehr in Austauschkorridoren zwischen Lebensräumen → Kollisionen † Population Reptilien, B. Zauneidechse

Straße → Verkehr → Verkehr in Ausbreitungskorridoren des Wolfes → Kollisionen † Population Wolf

Straße → Verkehr → Verkehr in Wildwechselbereichen → Kollisionen † Population Wild

Straße → Verkehr → Verkehr in Flugrouten → Kollisionen † Population Fledermäuse

Straße → Verkehr → Verkehr in Flugrouten → Kollisionen † Population einzelner Vogelarten

Straße † nicht überbaute Fläche

Straße † nicht versiegelte Fläche

Straße † nicht überbaute Fläche → Funktion des Bodens, z.B. Bodenfruchtbarkeit oder kulturelle Bedeutung

Straße † Boden ohne Schadstoffeintrag, z.B. durch Tausalze im Spritzwasserbereich

Straße † nicht überbaute Fläche → unbeeinträchtigte Grundwasser-nahe Standorte

Straße → Verkehr → Havarien → Schadstoffeintrag ins Grundwasser

Straße † Fläche → ungestörte Grundwasserschutzgebiete

Straße † Fläche → ungestörte Fließgewässer

Straße † Fläche → ungestörte Stillgewässer

Straße † Waldfläche → Funktionsverlust Klima

Straße † Waldfläche → Funktionsverlust Lufthygiene

Straße → Verkehr → Treibhausgase in der Luft † Klimaqualität

Straße ⊢ Qualität des Landschaftsbilds → Eignung der Landschaft für Erholung und Naturerleben

Straße ⊢ Fläche ⊢ Barrierewirkung ⊢ ungetrennte Landschaftsräume → Erlebniswirksamkeit

Straße → Verkehr → Lärmeintrag in die Landschaft ⊢ Eignung der Landschaft für die landschaftsgebundene Erholung



## Anhang 3: Anschreiben an die Teilnehmenden der DELPHI-Studie

**Muschkullus, Thomas**

---

**Von:** Muschkullus, Thomas  
**Gesendet:** Donnerstag, 4. November 2021 12:30  
**Betreff:** START der Delphi Studie zur Komplexität von Infrastruktur Projekten – Fragebogen erste Welle  
**Anlagen:** Anlage\_zum\_Fragebogen\_Delphi\_Welle1\_Rev0.pdf; Fragebogen\_Delphi\_Welle1\_Rev1.pdf

Sehr geehrte Damen und Herren,

heute startet die **erste Befragungswelle** der im Vorfeld mit Ihnen besprochenen DELPHI Studie. Ich möchte an dieser Stelle darauf hinweisen, dass es das Ziel der Befragung ist, eine statistische Gruppenantwort auf die Fragen zu erhalten. Im Gegensatz zu Gruppendiskussionen, welche sich u.a. durch Faktoren wie Gruppenzwang oder Meinungsführerschaft auszeichnen können, bietet gerade die DELPHI Studie die Möglichkeit einer **anonymisierten Befragung**. Zusätzlich bietet Ihnen das iterative Vorgehen in mehreren Wellen die Möglichkeit, Ihre eigenen Antworten zu überdenken und ggf. in einer Folgewelle anzupassen.

Selbstverständlich werden die von Ihnen erhobenen Daten anonymisiert verarbeitet!

In der Anlage finden Sie neben dem Fragebogen eine Anlage. Ich empfehle vor dem Ausfüllen des Fragebogens diese Anlage zu lesen. **Dies ist insbesondere hilfreich für die Beantwortung der Frage 2.**

**Bitte senden Sie mir den ausgefüllten Fragebogen bis zum 11.11.21 zurück.**

**Zur Erinnerung:**

Der Verlauf der Studie ist in der nachstehenden Tabelle beschrieben:

<b>Zeitraum</b>	<b>Studieninhalte</b>
27.10.21 bis 01.11.21	Pretest
<b>04.11.21 bis 11.11.21</b>	<b>1. Befragungsrunde</b>
16.11.21	1. Feedback
18.11.21 bis 25.11.21	2. Befragungsrunde
30.11.21	2. Feedback
02.12.21 bis 09.12.21	3. Befragungsrunde (optional)

Ich freue mich ganz außerordentlich auf Ihre wertvolle Expertise. Gerne stehe ich für weitere Fragen zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

---

**Thomas Muschkullus, MSc**

Lehrkraft für besondere Aufgaben



**Hochschule Geisenheim University**

**Institut für Landschaftsbau und Vegetationstechnik**

Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim

Tel. +49 6722 502 – 759

Fax +49 6722 502 770

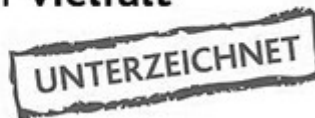
E-Mail: [Thomas.Muschkullus@hs-gm.de](mailto:Thomas.Muschkullus@hs-gm.de)

Raum: 11, Villa Monrepos

Aufsichtsbehörde: Hessisches Ministerium für Wissenschaft  
und Kunst Umsatzsteuer-Identifikationsnummer: DE  
113823585



**charta der vielfalt**



## Anhang 4: Anlage zum Fragebogen

### **Straße und Landschaft (SuL) als System**

Menschen haben das Bedürfnis nach Mobilität und wechseln im Schnitt dreimal täglich ihren Aufenthaltsort (Schwedes 2018). Dieser Bedarf wird durch Verkehr gedeckt - ein großer Teil über den Verkehrsträger Straße. Bei der Trassierung von Straßen wird der Versuch unternommen, eine „Synthese von Straße und Landschaft“ (Bracher & Bösl 2017) zu erreichen, da der Straßenkörper nicht losgelöst von der ihn umgebenden Umwelt betrachtet werden kann. Der Straßenverkehr beeinflusst u.a. die in § 2 UVPG genannten Schutzgüter, beispielsweise Boden, Luft, Wasser, Tiere, Pflanzen und die menschliche Gesundheit (vgl. Batz et al. 2021).

Muschkullus & Jedicke (2020) regen einen Perspektivwechsel in der Planung von Infrastrukturprojekten an und schlagen vor, die **Straße mit der sie umgebenden Landschaft als ein System** zu betrachten (vgl. Abb. 1). Dieses lässt sich in die Systemdimensionen „sozial“, „technisch“, „biotisch“ und „abiotisch“ gliedern.

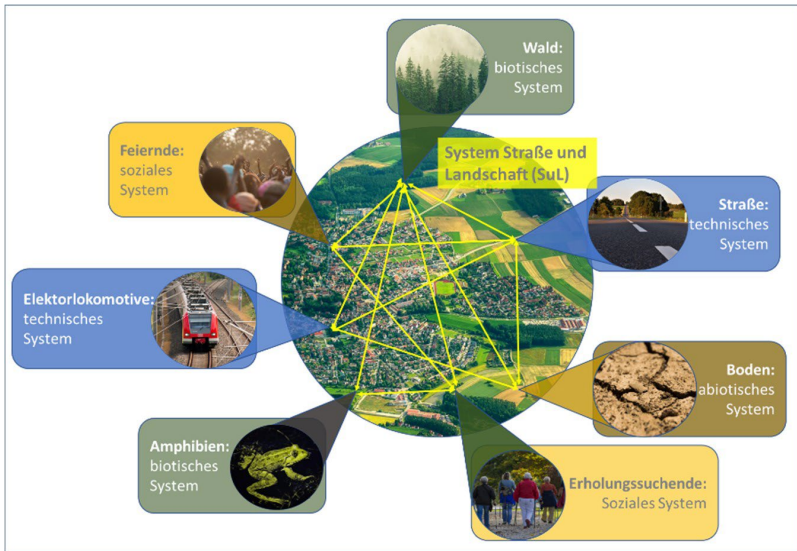


Abbildung 1: Bestandteile des Systems Straße und Landschaft (Auswahl)

## **Stabilität des Systems Straße und Landschaft**

In dem komplexen System Straße und Landschaft (SuL) beeinflussen sich die Eigenschaften einzelner Systemteile gegenseitig und verändern sich dynamisch. Somit besteht das Risiko überraschenden Systemverhaltens, welches in den Planungen für Infrastrukturprojekte berücksichtigt werden sollte. Eine Lösung könnte sein, die Straße und die sie umgebende Landschaft mit ihren wesentlichen Bestandteilen in einem Modell zu betrachten und dieses Modell auf Instabilitätspunkte zu untersuchen. Damit soll erreicht werden, dass das Risiko für ein nicht erwünschtes Verhalten von Systemteilen oder des Gesamtsystems im Rahmen der Realisierung von Infrastrukturprojekten gesenkt wird.

„**Stabilität des Systems Straße und Landschaft**“ ein von partikularen Interessen losgelöstes, die Abwägung nicht ersetzendes, sondern unterstützendes Bemessungswerkzeug etabliert werden. Dieser Gedanke findet Eingang in die Frage 2 des Fragebogens der ersten Welle.

## Anhang 5: Fragebogen der ersten Welle der DELPHI-Studie

Delphi Studie zu Zielen, Problemen und Einflussfaktoren in  
Infrastrukturprojekten  
Fragebogen der 1. Welle

### Frage 1:

Nennen Sie bitte die drei Hauptziele im Zusammenhang bei der Planung von Ortsumfahrungen, beispielsweise der Ortsumfahrung Elstorf.

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

### Frage 2:

„Die von Ihnen genannten Ziele bei der Planung von Ortsumfahrungen, beispielsweise der Ortsumfahrung Elstorf, können dem übergeordneten Ziel Stabilität des Systems Straße und Landschaft untergeordnet werden.“ Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussage zu:

Bitte benutzen Sie dazu die Zahlen 1 bis 5, wobei 5 für „starke Zustimmung“ und 1 für „überwiegende Ablehnung“ steht. Mit den Zahlen dazwischen können Sie Ihr Urteil abstufen (Zutreffendes bitte ankreuzen).

1 überwiegende Ablehnung	
2	
3	
4	
5 starke Zustimmung	

Bitte geben Sie auch an, wie sicher Sie sich bei dieser Einschätzung waren!

Bei dieser Einschätzung bin ich mir (Zutreffendes bitte ankreuzen):

1 völlig unsicher	
2	
3	
4	
5 völlig sicher	



**Frage 3:**

Nennen Sie bitte die drei größten Probleme bei der Realisierung von Ortsumfahrungen, beispielsweise bei der Ortsumfahrung von Elstorf.

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Bei dieser Einschätzung bin ich mir (Zutreffendes bitte ankreuzen):

1 völlig unsicher	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>
5 völlig sicher	<input type="checkbox"/>

Was vermuten Sie, welche Faktoren (z.B. Ursachen, Stellhebel, etc.) beeinflussen diese Probleme? (offene Abfrage)

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Bitte geben Sie an, wie sicher Sie sich bei den einzelnen Einschätzungen waren!

Bei dieser Einschätzung bin ich mir (Zutreffendes bitte ankreuzen):

1 völlig unsicher	
2	
3	
4	
5 völlig sicher	

Sollten Sie zu den zuvor bearbeiteten Gesichtspunkten von Problemen im Rahmen der Realisierung von Ortsumfahrungen oder deren Auswirkungen auf die Umwelt noch ergänzende Information haben, dann schreiben Sie diese bitte hier auf. Wir sind sehr an Ihrer Meinung interessiert.

Bitte senden Sie den ausgefüllten Fragebogen bis zum 11.11.2021 zurück an [thomas@muschkullus.de](mailto:thomas@muschkullus.de)

Vielen Dank für Ihre Mitwirkung!

## Anhang 6: Fragebogen der zweiten Welle der DELPHI-Studie

### Delphi Studie zu Zielen, Problemen und Einflussfaktoren in Infrastrukturprojekten

Fragebogen der 2. Erhebung

#### Frage 1:

Nennen Sie bitte die drei Hauptziele im Zusammenhang bei der Planung von Ortsumfahrungen, beispielsweise der Ortsumfahrung Elstorf.

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Nennungen der ersten Erhebung (kodiert und geclustert):

(n=39)

Erhöhung der Lebensqualität, Entlastung:	15
Verbesserung des Verkehrsflusses:	10
Erhöhung der Verkehrssicherheit:	8
Schutz von Natur und Umwelt (alle Schutzgüter):	4
Wirtschaftliche Ziele:	2

**Frage 2:**

Nennen Sie bitte die drei größten Probleme bei der Realisierung von Ortsumfahrungen, beispielsweise bei der Ortsumfahrung von Elstorf.

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Nennungen der ersten Erhebung (kodiert und geclustert):

(n=42)

Widerstände von Akteuren:	8
Natur- und Umweltschutzbelange:	8
Schwachstellen in den Planungs- und Umsetzungsprozessen:	6
Ziel- und Interessenskonflikte:	5
Abwägungs- und Gerechtigkeitsdefizite:	5
Budget- und Wirtschaftlichkeitsprobleme:	4
Defizite in der Kommunikation:	3
Mehrverkehr durch den Ausbau:	3

Bei dieser Einschätzung bin ich mir (Zutreffendes bitte ankreuzen):

	1. ERHE- BUNG (n=14)	2. ERHE- BUNG
1 völlig unsicher	0	
2	0	
3	1	
4	9	
5 völlig sicher	4	

Was vermuten Sie, welche Faktoren (z.B. Ursachen, Stellhebel, etc.) beeinflussen diese Probleme? (offene Abfrage)

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Nennungen der ersten Erhebung (kodiert und geclustert):

(n=39)

Schaffung eines gemeinsamen Wertemaßstabes:	13
Gestaltung der Planungsprozesse:	7
Transparenz und Beteiligung:	6
Finanzielle und personelle Ressourcen:	5
Information und Wissen der Akteure:	4
Verkehrsaufkommen:	1

Bei dieser Einschätzung bin ich mir (Zutreffendes bitte ankreuzen):

	1. ERHEBUNG (n=14)	2. ERHEBUNG
1 völlig unsicher	3	
2	9	
3	1	
4	1	
5 völlig sicher	0	

**Frage 3:**

In Ihren Anmerkungen wurde u.a. kritisiert, dass in der Planung von Ortsumfahrungen nicht „ganzheitlich“ vorgegangen werde. In einem Artikel in einer Fachzeitschrift wird vorgeschlagen, Infrastrukturprojekte künftig ganzheitlich zu betrachten, weil eine Vielfalt an Wechselwirkungen besteht, die sich einander bedingen.

Inwieweit stimmen Sie der skizzierten Umsetzungsidee zu:

**Umsetzungsidee:**

In einem Modell könnten die wechselseitigen Auswirkungen auf die Schutzgüter **und** auf z.B. den Menschen als soziales Wesen sowie auf die Straße analysiert werden. Dieses Modell könnte zur Abwägung und Beteiligung genutzt werden.

Bitte benutzen Sie dazu die Zahlen 1 bis 5, wobei 5 für „starke Zustimmung“ und 1 für „überwiegende Ablehnung“ steht. Mit den Zahlen dazwischen können Sie Ihr Urteil abstufen (Zutreffendes bitte ankreuzen).

1 überwiegende Ablehnung	
2	
3	
4	
5 starke Zustimmung	

Bitte geben Sie auch an, wie sicher Sie sich bei dieser Einschätzung waren!

Bei dieser Einschätzung bin ich mir (Zutreffendes bitte ankreuzen):

1 völlig unsicher	
2	
3	
4	
5 völlig sicher	

**Frage 4:**

Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussage zu:

„Die von Ihnen genannten Ziele bei der Planung von Ortsumfahrungen, beispielsweise der Ortsumfahrung Elstorf, können dem übergeordneten Ziel *Stabilität des Systems Straße und Landschaft* untergeordnet werden.“

Bitte benutzen Sie dazu die Zahlen 1 bis 5, wobei 5 für „starke Zustimmung“ und 1 für „überwiegende Ablehnung“ steht. Mit den Zahlen dazwischen können Sie Ihr Urteil abstufen (Zutreffendes bitte ankreuzen).

	1. ERHEBUNG (n=14)	2. ERHEBUNG
1 überwiegende Ablehnung	3	
2	2	
3	5	
4	3	
5 starke Zustimmung	1	



Bitte geben Sie auch an, wie sicher Sie sich bei dieser Einschätzung waren!

Bei dieser Einschätzung bin ich mir (Zutreffendes bitte ankreuzen):

	1. ERHEBUNG (n=14)	2. ERHEBUNG
1 völlig unsicher	1	
2	3	
3	3	
4	6	
5 völlig sicher	1	

Sollten Sie zu den zuvor bearbeiteten Gesichtspunkten von Problemen im Rahmen der Realisierung von Ortsumfahrungen oder deren Auswirkungen auf die Umwelt noch ergänzende Information haben, dann schreiben Sie diese bitte hier auf. Wir sind sehr an Ihrer Meinung interessiert.

---

---

Bitte senden Sie den ausgefüllten Fragebogen bis zum 25.11.2021 zurück an [thomas@muschkullus.de](mailto:thomas@muschkullus.de)

Vielen Dank für Ihre Mitwirkung!

## 8 Literatur

- A. KWET (1996): Predators of anuran eggs. *Salamandra* 32, 31–44.
- ABU EL ATA, N. (2016): Solving the dynamic complexity dilemma, Springer-Verlag Berlin An, [Place of publication not identified].
- ANDERS, S., BOTT, H., Hrsg. (2016): Stadt als System. Dissertation. Schriftenreihe Stadt + Landschaft 09, Universität Stuttgart.
- ANDREWS, K., JOCHIMSEN, D. (2007): Ecological effects of roads infrastructure on herpetofauna: understanding biology and increasing communication.
- APPEL, I., BUCK, M., DIECKMANN, M., ENGELSTÄTTER, T., HÄRTEL, I. (2018): Handbuch Umweltrecht, C.H. Beck, München. 5. Aufl.
- ARISTOTELES (2017): Nikomachische Ethik, Reclam, Stuttgart, 410 S.
- ASSOCIATION FOR PROJECT MANAGEMENT (2014): Factors in project success – APM research report, Download unter [https://www.apm.org.uk/sites/default/files/apm%20success%20report\\_nov%2014.pdf](https://www.apm.org.uk/sites/default/files/apm%20success%20report_nov%2014.pdf). (2019).
- BECHTEL, W., RICHARDSON, R. (2010): Discovering complexity – Decomposition and localization as strategies in scientific research, MIT Press, Cambridge, Mass, 286 S.
- BEETZ, J. (2016): Feedback – Wie Rückkopplung unser Leben bestimmt und Natur, Technik, Gesellschaft und Wirtschaft beherrscht, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 378 S.
- BEETZ, J. (2021): Rückkopplung in der Natur. In: BEETZ, J., Hrsg., Feedback. Wie Rückkopplung unser Leben bestimmt und Natur, Technik, Gesellschaft und Wirtschaft beherrscht, Springer, Berlin, Heidelberg, 111–183.
- BENTHAM, J. (2012): An Introduction to the Principles of Morals and Legislation, Dover Publications, Newburyport, 564 S.
- BERGHAUS, M. (2011): Luhmann leicht gemacht – Eine Einführung in die Systemtheorie, Böhlau; UTB GmbH, Köln, Stuttgart, 27 S.
- BEYER, U., NICKEL, K., HASENBECK, F., ZIMMERMANN, A. (2018): Mensch und System – Ideen zu humanzentrischen Systemmodellen, Springer Gabler, Wiesbaden, 30 S.

- BIZER, K., FÜHR, M., HÜTTIG, C. (2002): Responsive Regulierung – Beiträge zur interdisziplinären Institutionenanalyse und Gesetzesfolgenabschätzung : [Beiträge hervorgegangen aus einer Fachtagung der Evangelischen Akademie Loccum, Mohr Siebeck, Tübingen, 261 S.
- BLISS, C. (2000): Management von Komplexität – Ein integrierter, systemtheoretischer Ansatz zur Komplexitätsreduktion, Gabler Verlag, Wiesbaden, s.l., 282 S.
- BMUV.DE (12.04.2022): Evaluation des UVPG des Bundes: Auswirkungen des UVPG auf den Vollzug des Umweltrechts und die Durchführung von Zulassungsverfahren für Industrieanlagen und Infrastrukturmaßnahmen - BMUV-Download, Download unter <https://www.bmuv.de/download/evaluation-des-uvpg-des-bundes-auswirkungen-des-uvpg-auf-den-vollzug-des-umweltrechts-und-die-durchfuehrung-von-zulassungsverfahren-fuer-industrieanlagen-und-infrastrukturmassnahmen>. (12.04.2022).
- BMVI (2016): Bundesverkehrswegeplan 2030.
- BÖHRET, C., KONZENDORF, G. (2001): Handbuch Gesetzesfolgenabschätzung (GFA) – Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften, Nomos Verl.-Ges, Baden-Baden. 1. Aufl., 355 S.
- BORGERT, S. (2012): Holistisches Projektmanagement – Vom Umgang mit Menschen, Systemen und Veränderung, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- BORRMANN, A., KÖNIG, M., BEETZ, J., KOCH, C. (2015): Building Information Modeling – Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, Springer, Wiesbaden, XXVIII, 591 s.
- BOSEL, H. (2004): Systeme, Dynamik, Simulation – Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme, Books on Demand, Norderstedt, 400 S.
- BOTHE, H.-H. (1995): Fuzzy Logic – Einführung in Theorie und Anwendungen, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, s.l., 256 S.
- BRACHER, A., BÖSL, B. (2017): Straßenplanung, Bundesanzeiger, Köln. 9. Aufl., 446 S.

- BRAUN, A. (2017): Latours Existenzweisen und Luhmanns Funktionssysteme – Ein soziologischer Theorienvergleich, Springer VS, Wiesbaden, 185 S.
- BRECKNER, I., GÖSCHEL, A., MATTHIESEN, U., Hrsg. (2020): Stadtsoziologie und Stadtentwicklung – Handbuch für Wissenschaft und Praxis, Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Baden-Baden.
- BRIGGS, J., PEAT, D. (1995): Die Entdeckung des Chaos – Eine Reise durch die Chaos-Theorie, Deutscher Taschenbuch Verl., München. 4. Aufl., 330 S.
- BUND (12.04.2022): laubfrosch\_bund.cdr.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU- UND REAKTORSICHERHEIT (2016): Reform Bundesbau – Bessere Kosten-, Termin- und Qualitätssicherheit bei Bundesbauten. 1. Aufl.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (2015): Reformkommission Bau von Großprojekten – Komplexität beherrschen - kostengerecht, termintreu und effizient. Endbericht.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (2012): Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau – RE.
- BVERWG (2018): Bundesverwaltungsgericht.
- BVWP (08.04.2022): BMDV - Bundesverkehrswegeplan 2030, Download unter <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Infrastrukturplanung-Investitionen/Bundesverkehrswegeplan-2030/bundesverkehrswegeplan-2030.html>. (08.04.2022).
- CANNON, W. (1967): The wisdom of the body – How the human body reacts to disturbance and danger and maintains the stability essential to life, Norton & Co, New York, XVIII Seiten, Seite 19-333.
- CAPRA, F. (1997): The web of life – A new scientific understanding of living systems, Anchor Books, New York, London, XIX, 347.
- CARROLL, S. (2017): The Serengeti Rules – The Quest to Discover How Life Works and Why It Matters, Princeton University Press, Princeton, 285 S.

- CRAWLEY, E., CAMERON, B., SELVA, D. (2016): System architecture – Strategy and product development for complex systems, Pearson Education, Hoboken, N.J., xiii, 465.
- DALLMANN, H.-U., unter Mitarbeit von VOLZ, F.-R. (2017): Ethik in der Sozialen Arbeit, Wochenschau Verlag, Berlin. 1. Aufl., 161 S.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR MENSCHENRECHTE (2021): Internationale Anerkennung eines Menschenrechts auf eine sichere, saubere, gesunde und nachhaltige Umwelt.
- DIE BUNDESREGIERUNG (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. DIE BUNDESREGIERUNG, HRSG., Berlin.
- DIKIGOROPOULOU, N. (2016): The Legal Status of Sustainable Development.
- DIN E.V. (2016): Projektmanagement – Netzplantechnik und Projektmanagementsysteme, Beuth Verlag GmbH, Berlin. 3. Aufl., 323 S.
- DÖRING, N., unter Mitarbeit von PÖSCHL-GÜNTHER, S. (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg. 5. Aufl., 1051 S.
- DORSCH, M. (2021): Verkehrswirtschaft – Eine Einführung mit Fallstudien, utb, München, UVK Verlag, Stuttgart. 3. Aufl., 516 S.
- DUCHARDT, D., BOSSMANN, A., DENZ, C., Hrsg. (2019): Vielfältige Physik – Wissenschaftlerinnen schreiben über ihre Forschung, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- DUDEN ONLINE (02.01.2022): Großprojekte - Duden online, Download unter <https://www.duden.de/rechtschreibung/Groszprojekt>,
- DUDEN-ONLINE (12.04.2022): Duden | Suchen | Stabilität, Download unter <https://www.duden.de/suchen/dudenonline/Stabilit%C3%A4t>. (12.04.2022).
- ECO, U. (2000): Das Foucaultsche Pendel – Roman, Dt.-Taschenb.-Verl., München. 12. Aufl., 841 S.
- EDENHAMMN, P. (1996): Spatial dynamics of the European tree frog (*Hyla arborea* L.) in a hererogeneous landscape. Zugl.: Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Diss., 1996, Sveriges Lantbruksuniversitet Institutionen för Viltekologi, Uppsala, 129 S.

- EHEMANN, E.-M. (2020): Umweltgerechtigkeit – Ein Leitkonzept sozio-ökologisch gerechter Entscheidungsfindung, Mohr Siebeck, Tübingen. 1. Aufl., 575 S.
- ENGEL, C., TAMDJIDI, A., QUADAJACOB, N. (2008): Ergebnisse der Projektmanagement Studie 2008 – Erfolg und Scheitern im Projektmanagement, Download unter [https://www.gpm-ipma.de/know\\_how/studienergebnisse/pm\\_studie\\_2008\\_erfolg\\_und\\_scheitern\\_im\\_pm.html](https://www.gpm-ipma.de/know_how/studienergebnisse/pm_studie_2008_erfolg_und_scheitern_im_pm.html). (2019).
- ERBUTH, W., SCHLACKE, S. (2016): Umweltrecht, Nomos, Baden-Baden. 6. Aufl., 1534 S.
- ERK, C., MÜLLER, C. (2021): Unternehmens-Ökosysteme – Gemeinsam Nutzen stiften, Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Gabler, Wiesbaden. 1. Aufl., 118 S.
- ESTES, TINKER, WILLIAMS, DOAK (1998): Killer whale predation on sea otters linking oceanic and nearshore ecosystems. *Science (New York, N.Y.)* 282, (5388), 473–476.
- ESTES, J., TERBORGH, J., BRASHARES, J., POWER, M., BERGER, J., BOND, W., CARPENTER, S., ESSINGTON, T., HOLT, R., JACKSON, J., MARQUIS, R., OKSANEN, L., OKSANEN, T., PAINE, R., PIKITCH, E., RIPPLE, W., SANDIN, S., SCHEFFER, M., SCHOENER, T., SHURIN, J., SINCLAIR, A., SOULÉ, M., VIRTANEN, R., WARDLE, D. (2011): Trophic downgrading of planet Earth. *Science (New York, N.Y.)* 333, (6040), 301–306.
- FEES, E. (19.02.2018): Definition: Komplexität. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- FISCHER, L. (2004): Projektionsfläche Natur – Zum Zusammenhang von Naturbildern und gesellschaftlichen Verhältnissen, Hamburg Univ. Press, Hamburg, 352 S.
- FLICK, U. (2015): Qualitative Forschung – Ein Handbuch, rowohlt's enzyklopädie im Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg. 11. Aufl., 767 S.
- FLURL, M. (2016): Kollaborative Modellierung und simulationsgestützte Evaluierung trassenbasierter Infrastrukturbauwerke. Dissertation, Technische Universität München, München.

- FLYVBER ET AL. (2004): What Causes Cost Overrun in Transport Infrastructure Projects? *Transport Reviews* vol.24, (1), 3–18.
- FLYVBJERG, B. (2017): *The Oxford handbook of megaproject management*, Oxford University Press, Oxford, 624 S.
- FONTANA, F. (2021): Sensitivitätsanalysen und Robustheitsuntersuchung. In: FONTANA, F., Hrsg., *Methoden zur durchgängigen virtuellen Eigenschaftsentwicklung von Fahrzeugen mit Bremsregelsystem*. Dissertation, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 77–95.
- FORD, A. (2010): *Modeling the environment*, Island Press, Washington, DC. 2. Aufl., 380 S.
- FORRESTER, J. (2013): *Industrial dynamics*, Martino Publ, Mansfield Centre, Conn. 1961. Aufl., 464 S.
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (Ausgabe 2001): *Merkblatt zur Umweltverträglichkeitsstudie in der Straßenplanung – M UVS*.
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (2009): *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung – RIN*, Köln.
- FRAHM, M. (2013): *Baukybernetik – Kybernetisches Bauprojektmanagement zur Gestaltung lebensfähiger Bauprojektstrukturen*, Books on Demand, Norderstedt. 1. Aufl., 188 S.
- FREITAG, M. (2016): *Kommunikation im Projektmanagement: Aufgabenfelder und Funktionen der Projektkommunikation*, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- FÜRST, D., SCHOLLES, F. (2008): *Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung*, Rohn, Dortmund. 3. Aufl., 656 S.
- GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON ONLINE (2018): *Komplexität - Gabler Wirtschaftslexikon*, Download unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/komplexitaet-39259>.
- GASSNER, E., WINKELBRANDT, A., BERNOTAT, D. (2010): *UVP und strategische Umweltprüfung – Rechtliche und fachliche Anleitung für die Umweltprüfung*, Müller, Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg. 5. Aufl., 480 S.



- GEISREITER, M., BERRES, A., ZUCCARO, C., HÜFFER, H., FRITZ, J., AUGUSTIN, M., DORSCH, T., RAMBO, J., WEBER, H., TSCHIRNER, C., SCHEITHAUER, D., HOLST, C. von, HÜNNEMEYER, G., LAMM, J., ANSORGE, W., ROTH, S., WEILKIENS, T., VIELHABER, M., PRILLWITZ, M., Hrsg. (2019): Systems Engineering – Die {@Klammer in der technischen Entwicklung}, Books on Demand, Norderstedt.
- GESSLER, M. (2014): Kompetenzbasiertes Projektmanagement (PM3), GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement, Nürnberg. 7. Aufl., 760 Seiten.
- GIESA, I., unter Mitarbeit von MOTZKO, C., WANNINGER, R. (2010): Prozessmodell für die frühen Bauprojektphasen, Universitäts- und Landesbibliothek Darmstadt, Darmstadt, 1 Online-Ressource.
- GIRMSCHIED, G., MOTZKO, C. (2007): Kalkulation und Preisbildung in Bauunternehmen – Grundlagen, Methodik und Organisation, Springer, Berlin, Heidelberg, 378 S.
- GLANDT, D., unter Mitarbeit von LAY, M. (2018): Praxisleitfaden Amphibien- und Reptilienschutz – Schnell – präzise – hilfreich, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. 1. Aufl., 308 S.
- GÖBEL, E. (2018): Entscheidungstheorie, UVK Verlagsgesellschaft mbH; UVK/Lucius; UTB GmbH, Konstanz, München, Stuttgart. 2. Aufl., 320 S.
- GOBERT, J. (2016): Widerstand gegen Großprojekte – Rahmenbedingungen, Akteure und Konfliktverläufe, Springer, Wiesbaden. 1. Aufl., 37 S.
- GOLDINGAY, R., TAYLOR, B. (2006): How many frogs are killed on a road in North-east New South Wales? *Australian Zoologist* 33, (3), 332–336.
- GOLL, J. (2018): Entwurfsprinzipien auf Systemebene. In: GOLL, J., Hrsg., Entwurfsprinzipien und Konstruktionskonzepte der Softwaretechnik. Strategien für schwach gekoppelte, korrekte und stabile Software, Springer Vieweg, Wiesbaden, 147–150.
- GOTTERT, C. (2015): PROJEKTERFOLG HAT KEINE FAKTOREN. – Zur Bedeutung komplexitätsadäquater Kommunikationsstrukturen für den Erfolg von IT-Projekten., Universität Hildesheim, Hildesheim.

- GPM (2019): Kompetenzbasiertes Projektmanagement (PM4): Handbuch für Praxis und Weiterbildung im Projektmanagement, GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e. V.
- GPM DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR PROJEKTMANAGEMENT E.V., EUROPEAN BUSINESS SCHOOL PARIS, HOCHSCHULE FÜR WIRTSCHAFT UND UMWELT NÜRTINGEN-GEISLINGEN (2013): Misserfolgskriterien in der Projektarbeit – Kurzfassung der Ergebnisse einer Studie der Fachgruppe Neue Perspektiven in der Projektarbeit 2012-2013, Download unter <http://gpm-blog.de/misserfolgskriterien-projektmanagement-studie/>.
- GRAFE, T., MEUCHE, I. (2005): Chorus tenure and estimates of population size of male European tree frogs *Hyla arborea*: implications for conservation. *Amphib Reptilia* 26, (4), 437–444.
- GROSSENBACHER, K., ARNTZEN, J., BÖHME, W., Hrsg. (2012): (Alytidae, Bombinatoridae, Pelodytidae, Pelobatidae). *Handbuch der Reptilien und Amphibien Europas / begr. von Wolfgang Böhme Bd. 5, Froschlurche (Anura) 1*, Aula-Verl., Wiebelsheim.
- GRÖSSER, S. (2011): Projekte scheitern wegen dynamischer Komplexität – Qualitative Feedbackmodellierung zur Komplexitätsbewältigung. *projektMANAGEMENT aktuell*, (5), 18–25.
- HABERFELLNER, R. (2012): *Systems Engineering* – Grundlagen und Anwendung, Orell Füssli, Zürich. 13. Aufl., 416 Seiten ;
- HABERMAS, J. (2015): *Erläuterungen zur Diskursethik*, Suhrkamp, Frankfurt am Main. 6. Aufl., 229 S.
- HÄDER, M. (2014): *Delphi-Befragungen – Ein Arbeitsbuch*, Springer VS, Wiesbaden. 3. Aufl., 244 S.
- HÄDER, M., HÄDER, S., Hrsg. (2000): *Die Delphi-Technik in den Sozialwissenschaften – Methodische Forschungen und innovative Anwendungen*. ZUMA-Publikationen, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, s.l.
- (April 2017): *Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz – Indikatoren, Kenn- und Orientierungswerte : ein Projekt des Forschungsprogramms "Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau*

- und Reaktorsicherheit (BMUB), betreut vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn. 2017. Aufl., 141 S.
- HENCKEL, D., KRAMER, C., Hrsg. (2019): Zeitgerechte Stadt – Konzepte und Perspektiven für die Planungspraxis. Forschungsberichte der ARL 09, Akademie für Raumforschung und Landesplanung Leibniz-Forum für Raumwissenschaften, Hannover.
- HENSEL, S., BIZER, K., FÜHR, M., LANGE, J., Hrsg. (2010): Gesetzesfolgenabschätzung in der Anwendung – Perspektiven und Entwicklungstendenzen. Interdisziplinäre Studien zu Recht und Staat 48, Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Baden-Baden.
- HERLYN, E., LÉVY-TÖDTER, M., Hrsg. (2019): Die Agenda 2030 als „Magisches Vieleck“ der Nachhaltigkeit – Systemische Perspektiven. FOM-Edition, Springer Gabler; FOM Hochschule, Wiesbaden, Germany, Düsseldorf, Deutschland.
- HINTZEN, H., LAUFENBERG, H., KURZ, U. (2000): Konstruieren, Gestalten, Entwerfen – Ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium der Konstruktionstechnik, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 368 S.
- HOHEISEL, D. (2019): Landschaft, ein System? – Analyse systemtheoretischer Ansätze mit Bezug zur Landschaftsplanung vor dem Hintergrund der vielfältigen Bedeutungen des deutschen Landschaftsbegriffs, kassel university press GmbH, Kassel, 260 S.
- HOPPE, W., APPOLD, W. (2018): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG), Umwelt-Rechtsbehelfgesetz (UmwRG) – Kommentar, Carl Heymanns Verlag, Köln. 5. Aufl., 1113 S.
- HOSEMANN, W., GEILING, W. (2005): Einführung in die systemische Soziale Arbeit, Lambertus, Freiburg im Breisgau, 327 Seiten.
- JACKSON, M. (2019): Critical systems thinking and the management of complexity – Responsible leadership for a complex world, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, xxvii, 696.

- JAKOBY, W. (2019): Projektmanagement für Ingenieure – Ein praxisnahes Lehrbuch für den systematischen Projekterfolg, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden. 4. Aufl., 416164 S.
- JOHNSON, B. (2017): Design computing – An overview of an emergent field, Routledge, New York, London, 202 S.
- KANT, I. (2019): Grundlegung zur Metaphysik der Sitten, Reclam, Ditzingen, 130 S.
- KANT, I., WEISCHEDEL, W., Hrsg. (2016): Werke [in zwölf Bänden], Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- KLOEPFER, M., unter Mitarbeit von NEUGÄRTNER, R. D. (2019): Umweltrecht, C.H. Beck, München. 4. Aufl., 1984 S.
- KNAPP, H., KLAUS, S., FÄHSER, L., Hrsg. (2021): Der Holzweg – Wald im Widerstreit der Interessen, oekom verlag, München.
- KONAMI (12.04.2022): Frogger (1981) - Jeu vidéo - SensCritique, Download unter <https://www.senscritique.com/jeuvideo/Frogger/268651>. (12.04.2022).
- KÖPPEL, J., PETERS, W., WENDE, W. (2007): Eingriffsregelung, Umweltverträglichkeitsprüfung, FFH-Verträglichkeitsprüfung – 48 Tab, Ulmer, Stuttgart. 2. Aufl., 370 S.
- KRIEGER, D. (1998): Einführung in die allgemeine Systemtheorie, Fink, München. 2. Aufl., 183 Seiten.
- KRÖHNERT, S., NINGEL, R., THOMÉ, P., Hrsg. (2020): Ortsentwicklung in ländlichen Räumen – Ein Handbuch für planende und soziale Berufe. utb-studi-e-book 5424, Haupt Verlag; utb, Bern.
- KRON, T., Hrsg. (2002): Luhmann modelliert – Sozionische Ansätze zur Simulation von Kommunikationssystemen, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, s.l.
- KUHLMANN, M., ET AL. (2014): Umweltverträglichkeitsprüfung und Strategische Umweltprüfung als Instrumente des Ressourcenschutzes.
- KÜHNER, S. (1995): Bodenschutz als Planungsaufgabe – Die Weiterentwicklung der Raumordnung zu einer „Bodenschutzplanung“, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, s.l., 312 S.

- KÜPPERS, E. (2019): Eine transdisziplinäre Einführung in die Welt der Kybernetik – Grundlagen, Modelle, Theorien und Praxisbeispiele, Springer Vieweg, Wiesbaden, 258 S.
- LANDESAMT FÜR STATISTIK NIEDERSACHSEN (2022): Bevölkerungsstand: Einwohnerzahl Niedersachsens - Statistische Berichte | Landesamt für Statistik Niedersachsen, Download unter [https://www.statistik.niedersachsen.de/startseite/themen/bevoelkerung/bevolkerungsstand\\_einwohnerzahl\\_niedersachsens/bevolkerungsstand-einwohnerzahl-niedersachsens-statistische-berichte-20%201961.html](https://www.statistik.niedersachsen.de/startseite/themen/bevoelkerung/bevolkerungsstand_einwohnerzahl_niedersachsens/bevolkerungsstand-einwohnerzahl-niedersachsens-statistische-berichte-20%201961.html). (12.04.2022).
- LANGE, S. (2015): Komplexität im Projektmanagement – Methoden und Fallbeispiele für erfolgreiche Projekte, Springer Vieweg, Wiesbaden.
- LAUTNER, G. (1999): Funktionen raumordnerischer Verfahren – Ein Beitrag aus der Sicht des Verwaltungsrechts und der Verwaltungswissenschaften, Duncker & Humblot, Berlin, 455 S.
- LAUX, H., GILLENKIRCH, R., SCHENK-MATHES, H. (2014): Entscheidungstheorie, Springer Gabler, Berlin. 9. Aufl., 594 S.
- LISETSKA, K. (2017): Effizienzsteigerung in der Planung von Infrastrukturvorhaben durch informelle Bürgerbeteiligung. Dissertation, Technische Universität Braunschweig.
- LOCHER, H., unter Mitarbeit von BARAL, D. (2021): Kommentar zur HOAI – Gesamtdarstellung zum Architekten- und Ingenieurrecht, Werner Verlag; Wolters Kluwer Deutschland GmbH, Hürth. 15. Aufl.
- LUHMANN, N. (1999): Soziale Systeme – Grundriß einer allgemeinen Theorie, Suhrkamp, Frankfurt am Main. 7. Aufl., 674 S.
- LUHMANN, N. (2015): Soziale Systeme – Grundriß einer allgemeinen Theorie, Suhrkamp, Frankfurt am Main. 16. Aufl., 674 S.
- LUHMANN, N. (2017): Einführung in die Systemtheorie, Carl-Auer-Syteme Verlag, Heidelberg, 334 S.
- LUHMANN, N. (2018a): Die Gesellschaft der Gesellschaft, Suhrkamp, Frankfurt am Main. 10. Aufl., 593 S.
- LUHMANN, N. (2018b): Konstruktivistische Perspektiven, Springer VS, Wiesbaden. 5. Aufl., 236 S.

- LUTZ-BACHMANN, M. (2013): Ethik, Reclam, Stuttgart, 236 S.
- MAASER, W. (2015): Lehrbuch Ethik – Grundlagen, Problemfelder und Perspektiven, Beltz Juventa, Weinheim. 2. Aufl., 196 S.
- MACLEAMY, P. (2020): Designing a world-class architecture firm – The people, stories, and strategies behind HOK, Wiley, Hoboken, New Jersey, 263 S.
- MAIER, M. (2009): The Art of Systems Architecting, Third Edition, CRC Press, Hoboken. 3. Aufl., 468 S.
- MAINZER, K. (2008): Komplexität, Fink, Paderborn. 1. Aufl., 129 S.
- MANIEZZO, V., BOSCHETTI, M., STÜTZLE, T. (2021): Decomposition-Based Heuristics. In: MANIEZZO, V. et al., Hrsg., Matheuristics. Algorithms and implementations, Springer, Cham, 159–177.
- MAPS.GOOGLE (12.04.2022): Elstorf - Google Maps. (12.04.2022).
- MARTÍN GARCÍA, J. (2021): System dynamics – Modeling, simulation and analysis, Independently Published, 325 S.
- MEADOWS, D., WRIGHT, D. (2011): Thinking in systems – A primer, Chelsea Green Pub, White River Junction, Vt, 218 S.
- MEYER, H., REHER, H. (2015): Projektmanagement: Von der Definition über die Projektplanung zum erfolgreichen Abschluss, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- MICHALKE, A., RAMBKE, M., ZERANSKI, S., Hrsg. (2018): Vernetztes Risiko- und Nachhaltigkeitsmanagement – Erfolgreiche Navigation durch die Komplexität und Dynamik des Risikos. Business, Economics, and Law, Springer Gabler, Wiesbaden.
- MIDDLETON, A., MORRISON, T., FORTIN, J., ROBBINS, C., PROFFITT, K., WHITE, P., MCWHIRTER, D., KOEL, T., BRIMEYER, D., FAIRBANKS, W., KAUFFMAN, M. (2013): Grizzly bear predation links the loss of native trout to the demography of migratory elk in Yellowstone. Proceedings. Biological sciences 280, (1762), 20130870.
- MILL, J. (2014): Utilitarianism – Englisch/Deutsch = Der Utilitarismus, Reclam, Stuttgart, 207 S.
- MINTZBERG, H. (2000): The rise and fall of strategic planning, Prentice Hall, London, 458 S.

- MÖLLER, T., DÖRRENBURG, F. (2003): Projektmanagement, Oldenbourg, München u. a., 178 S.
- MORAVEC, J. (1989): Observation on fertilization and oviposition in the European tree frog (*Hyla arborea*).
- MÜLLER, A. (2017): Planungsethik – Eine Einführung für Raumplaner, Landschaftsplaner, Stadtplaner und Architekten, A. Francke Verlag, Tübingen, 126 S.
- MUSCHKULLUS, T. JEDICKE, E. (2020): Vorschläge für einen Perspektivwechsel in der Planung von Verkehrs-Großprojekten – Eine systemtheoretische Betrachtung im Kontext von technischer, ökologischer, ökonomischer und sozialer Komplexität. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, (2), 76–86.
- NATZSCHKA, H. (2011): Straßenbau – Entwurf und Bautechnik, Vieweg + Teubner, Wiesbaden. 3. Aufl., 580 S.
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR GESCHÄFTSBEREICH LÜNEBURG: Erläuterungsbericht und UVP-Bericht – Voruntersuchung Ortsumgebung Elstorf mit Zubringer A 26.
- NORMAN, E., BROTHERTON, S., FRIED, R. (2011): *Work Breakdown Structures – The Foundation for Project Management Excellence*, John Wiley & Sons Inc, Hoboken, 304 S.
- OBERGRIEBER, M., Hrsg. (2017): *Digitale Werkzeuge zur integrierten Infrastrukturbauwerksplanung – Am Beispiel des Schienen- und Straßenbaus*.
- PAINE, R. (1966): Food Web Complexity and Species Diversity. *The American Naturalist* 100, (910), 65–75.
- PAPULA, L. (2018): *Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Band 1 – Ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Grundstudium : mit 500 Beispielen aus Naturwissenschaft und Technik sowie 352 Übungsaufgaben mit ausführlichen Lösungen*, Springer Vieweg, Wiesbaden. 15. Aufl., 854 S.
- PETERS, H.-J., BALLA, S., HESSELBARTH, T. (2019): *Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung – Handkommentar*, Nomos, Baden-Baden. 4. Aufl.

- PIXABAY (08.04.2022): Kostenloses Bild auf Pixabay - Die Forth Bridge, Eisenbahnbrücke, Download unter <https://pixabay.com/de/photos/die-forth-bridge-eisenbahnbr%C3%BCcke-4529734/>. (08.04.2022).
- PLANUNGSWERKSTATT (2022): Neubau der B 3 (Umgehungen Ovelgönne / Ketzendorf und Elstorf / Schwiederstorf) | Nds. Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, Download unter [https://www.strassenbau.niedersachsen.de/startseite/projekte/bundesstrassen/b\\_3\\_ortsumgehung\\_elstorf/neubau-der-b-3-umgehungen-ovelgoenne-keztendorf-und-elstorf-schwiederstorf-78683.html](https://www.strassenbau.niedersachsen.de/startseite/projekte/bundesstrassen/b_3_ortsumgehung_elstorf/neubau-der-b-3-umgehungen-ovelgoenne-keztendorf-und-elstorf-schwiederstorf-78683.html). (12.04.2022).
- POERSCHKE, U. (2016): *Architectural theory of modernism – Relating functions and forms*, Routledge, New York, 241 S.
- POWER, M., TILMAN, D., ESTES, J., MENGE, B., BOND, W., MILLS, L., DAILY, G., CASTILLA, J., LUBCHENCO, J., PAINE, R. (1996): Challenges in the Quest for Keystones. *BioScience* 46, (8), 609–620.
- PRINS (08.03.2021): Bundesverkehrswegeplan 2030 – Projekt B3-G10-NI, Download unter [https://www.bvwp-projekte.de/strasse/B3-G10-NI/B3-G10-NI.html#h1\\_grunddaten](https://www.bvwp-projekte.de/strasse/B3-G10-NI/B3-G10-NI.html#h1_grunddaten). (12.04.2022).
- RAMMLER, S. (2015): *Schubumkehr – Die Zukunft der Mobilität*, Fischer Taschenbuch, Frankfurt am Main. 2. Aufl., 335 S.
- RAWLS, J. (2020): *Eine Theorie der Gerechtigkeit*, Suhrkamp, Frankfurt am Main. 22. Aufl., 674 S.
- REYERS, B., STAFFORD-SMITH, M., ERB, K.-H., SCHOLLES, R., SELOMANE, O. (2017): Essential Variables help to focus Sustainable Development Goals monitoring. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26-27, 97–105.
- RICHARD, H., SANDER, M. (2013): *Technische Mechanik - Statik – Lehrbuch mit Praxisbeispielen, Klausuraufgaben und Lösungen*, Springer Vieweg, Wiesbaden. 4. Aufl., 231 S.
- RICHTER, T. (2016): *Planung von Autobahnen und Landstraßen*, Springer Vieweg, Wiesbaden, 307 S.
- RIEDEL, W., LANGE, H., JEDICKE, E., REINKE, M. (2016): *Landschaftsplanung*, Springer Spektrum; Springer, s.l. 3. Aufl., 0 S.



- RIPPLE, W., BESCHTA, R. (2012): Trophic cascades in Yellowstone: The first 15 years after wolf reintroduction. *Biological Conservation* 145, (1), 205–213.
- RITTEL, H. (2013): *Thinking Design – Transdisziplinäre Konzepte für Planer und Entwerfer*, de Gruyter; Birkhäuser, Berlin, Basel, 368 S.
- ROMMELFANGER, H., EICKEMEIER, S. (2002): *Entscheidungstheorie – Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, 268 S.
- ROTE LISTE BMBF LS5 (2019): Detailseite - Rote-Liste-Zentrum Rote-Liste-Zentrum, Download unter [https://www.rote-liste-zentrum.de/de/Detailseite.html?species\\_uid=7f8b55c2-e71b-446b-9e33-eedced8c54fd](https://www.rote-liste-zentrum.de/de/Detailseite.html?species_uid=7f8b55c2-e71b-446b-9e33-eedced8c54fd). (12.04.2022).
- RUMANE, A., Hrsg. (2019): *Handbook of Construction Management – Scope, Schedule, and cost control*, CRC Press.
- RUNKEL, G., BURKART, G. (2012): *Funktionssysteme der Gesellschaft – Beiträge zur Systemtheorie von Niklas Luhmann*, VS Verlag für Sozialwissenschaften (GWV), s.l. 1. Aufl., 329 S.
- SCHLEICHER, M. (2012): *Komplexitätsmanagement bei der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau*. Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2011, Univ. Press, Kassel, 185 S.
- SCHLIPF, S. (2022): *dissertation sonja schlipf* - Suche, Download unter [https://www.bing.com/search?q=dissertation+sonja+schlipf&cvid=318249d7bdf242c7b3557f35baf952d6&aq\\_s=edge.2.69i59j69i57j69i59l2j69i60l3.2972j0j4&FORM=ANAB01&PC=U531](https://www.bing.com/search?q=dissertation+sonja+schlipf&cvid=318249d7bdf242c7b3557f35baf952d6&aq_s=edge.2.69i59j69i57j69i59l2j69i60l3.2972j0j4&FORM=ANAB01&PC=U531). (2022).
- SCHLIPPE, A. von, SCHWEITZER, J. (2016): *Lehrbuch der systemischen Therapie und Beratung I und II – Limitierte Studienausgabe*. limit.Studienausgabe/cpl.z.Vorzugspreis, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen. 1. Aufl., 944 Seiten in 2 Teilen.
- SCHMALZ, I. (2019): *Akzeptanz von Großprojekten – Eine Betrachtung von Konflikten, Kosten- und Nutzenaspekten und Kommunikation*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 35560 S.
- SCHMIDT, B. (2011): *Die Bedeutung der Jungtiere für die Populationsdynamik von Amphibien*.

- SCHMIDT, B., ZUMBACH S, TOBLER U, LIPPUNER M (2015): Amphibien brauchen temporäre Gewässer, 137 S.
- SCHNEEWEIß, C. (1991): Planung – Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen, Springer, Berlin, Heidelberg, 38997 S.
- SCHNEEWEIß, C. (1992): Planung – Konzepte der Prozeß- und Modellgestaltung, Springer, Berlin, Heidelberg, 27961 S.
- SCHULZ, M., RENN, O. (2009): Das Gruppendelphi – Konzept und Fragebogenkonstruktion, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- SCHWEDES, O., Hrsg. (2018): Verkehrspolitik – Eine interdisziplinäre Einführung, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- SCHWEDES, O., CANZLER, W., KNIE, A., Hrsg. (2016): Handbuch Verkehrspolitik. Springer NachschlageWissen, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, s.l.
- SIMON, F. (2017): Einführung in Systemtheorie und Konstruktivismus, Carl-Auer, Heidelberg, 120 S.
- SPANG, K., Hrsg. (2016): Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten. VDI-Buch, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- SPATSHECK, C., WOLF-OSTERMANN, K. (2016): Sozialraumanalysen – Ein Arbeitsbuch für soziale, gesundheits- und bildungsbezogene Dienste, utb; Verlag Barbara Budrich, Stuttgart, Opladen, Toronto, 195 S.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (11.01.2022): Baupreisindizes für Straßenbau und Brückenbau, Download unter [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Grafiken/Preise/Baupreise-Immobilienpreisindex/2021/\\_Interaktiv/20210721-baupreisindex-strassen.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Grafiken/Preise/Baupreise-Immobilienpreisindex/2021/_Interaktiv/20210721-baupreisindex-strassen.html). (08.04.2022).
- STATISTISCHES BUNDESAMT (09.03.2022): Indikator 15.1.a - Ziel 15, Download unter <https://sustainabledevelopment-deutschland.github.io/15-1-a/>. (07.04.2022).
- STERMAN, J. (ca. 2009): Business dynamics – Systems thinking and modeling for a complex world, Irwin/McGraw-Hill, Boston, 982 S.

- STRAßENBAUVERWALTUNG RHEINLAND PFALZ: Übersichtslageplan – A 643 6-streifiger Ausbau zwischen AD Mainz und AK Wiesbaden-Schierstein, Abschnitt AS Mainz-Gonsenheim bis AS Mainz-Mombach.
- STUMPEL, A. (1987): Distribution and Present Numbers of the Tree Frog *Hyla Arborea* in Zealand Flanders, The Netherlands (Amphibia, Hylidae). *BTD* 57, (2), 151–163.
- STUMPEL, A. (1986): Habitat and ecology of *Hyla arborea* in The Netherlands. *Studies in herpetology*.
- SULTANOW, E. (2010): Zusammenarbeit in verteilten Projekten: Dekomposition, Barrieren und Lösungen im Kontext der Webentwicklung, Gito, Berlin, 135 S.
- TESTER, U. (1990): Artenschützerisch relevante Aspekte zur Ökologie des Laubfroschs.
- THE STANDISH GROUP INTERNATIONAL, INC (2015): *Chaos Report 2015*.
- TREIBER, M., KESTING, A. (2010): *Verkehrsdynamik und -simulation – Daten, Modelle und Anwendungen der Verkehrsflussdynamik*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 368 S.
- UMWELT, N. (12.04.2022): UVP - Umweltverträglichkeitsprüfung, Download unter <https://uvp.niedersachsen.de/startseite>. (12.04.2022).
- VDI (2014): *Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung bei Planung und Bau von Infrastrukturprojekten*, (7001).
- VEIT, S., REICHARD, C., WEWER, G., Hrsg. (2019): *Handbuch zur Verwaltungsreform*. Springer Reference Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.
- VESTER, F. (1999): *Crashtest Mobilität – Die Zukunft des Verkehrs ; Fakten, Strategien, Lösungen*, Dt. Taschenbuch-Verl., München, 382 Seiten.
- VESTER, F. (2015): *Die Kunst vernetzt zu denken – Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität; ein Bericht an den Club of Rome*, Dtv, München. 10. Aufl., 373 Seiten.

- WADENPOHL, F. (2011): Stakeholder-Management bei grossen Verkehrsinfrastrukturprojekten, Vdf Hochschulverlag, Zürich, x, 203 Seiten.
- WATZLAWICK, P. (2021): Anleitung zum Unglücklichsein, Piper, München, 131 S.
- WEBSEITE DER BUNDESREGIERUNG (07.04.2022): Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt, Download unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-verstaendlich-erklaert-232174>. (07.04.2022).
- WEIBEL, B. (2017): Simplicity – Die Kunst, die Komplexität zu reduzieren, Verlag Neue Zürcher Zeitung, Zürich. 7. Aufl., 175 Seiten.
- WESSLER, M. (2012): Entscheidungstheorie – Von der klassischen Spieltheorie zur Anwendung kooperativer Konzepte, Gabler Verlag, Wiesbaden, 214 S.
- WILDAVSKY, A. (1988): Searching for Safety, Transaction Publishers.
- WITTGENSTEIN, L. (2014): Logisch-philosophische Abhandlung – Tractatus logico-philosophicus, Suhrkamp, Frankfurt am Main. 35. Aufl., 116 Seiten.
- WÖHE, G. (2000): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre – Ulrich Döring, Vahlen, München. 20. Aufl., 1260 S.
- WÖHE, G., DÖRING, U., BRÖSEL, G. (2020): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Verlag Franz Vahlen, München. 27. Aufl., 984 S.
- WOHLGEMUTH, T., JENTSCHE-BEIERKUHNLEIN, A., SEIDL, R., Hrsg. (2019): Störungsökologie. utb-studi-e-book 5018, Haupt Verlag, Bern.
- WULMSTORF, G. (11.01.2018): Neuer Wegweiser für die Gemeinde Neu Wulmstorf. Gemeinde Neu Wulmstorf.
- ZILCH, K., DIEDERICHS, C., BECKMANN, K., GERTZ, C., MALKWITZ, A., MOORMANN, C., URBAN, W., VALENTIN, F., Hrsg. (2020): Handbuch für Bauingenieure – Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit. Springer Nature Living Reference Computer Science and Engineering, Springer Vieweg, Wiesbaden.

ZIMMERMANN, H.-J. (2008): Entscheidungsbaumverfahren. In: ZIMMERMANN, H.-J., Hrsg., Operations Research. Methoden und Modelle ; für Wirtschaftsingenieure, Betriebswirte, Informatiker, Vieweg, Wiesbaden, 230–270.