

4. Pfadabhängigkeiten, Hindernisse und Erfolgsfaktoren für Transformationsprozesse in Richtung einer Green Economy

4.1 Pfadabhängigkeiten und Hindernisse aus 15 Transformationsfeldern in den Bereichen Wärme, Mobilität, Ressourcen und Landwirtschaft

4.1.1 Die Auswahl der 15 Transformationsfelder

Der Blick in die letzten Fortschrittsberichte zur Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2012, 2016) zeigt, dass sich Fortschritte keineswegs bei allen Indikatoren ergeben haben. Selbst bei der Energiewende als Vorzeigeprojekt der Bundesregierung wird zumindest im Hinblick auf die Energieproduktivität der erhoffte Effekt nicht erzielt. Auch in Bezug auf die Indikatoren »Güterverkehrsintensität«, »Flächenverbrauch«, »Flächenanteil der ökologischen Landwirtschaft« und »Biodiversität« werden – wie auch in anderen Feldern – die angestrebten Verbesserungen verfehlt.

Die mitunter geringen Fortschritte sind häufig als Ergebnis des Ineinandergreifens komplexer und vielfältiger Wirkungszusammenhänge zu betrachten. Beispielhaft sei angeführt, dass z. B. im Kontext der noch reichlich vorhandenen, ungenutzten industriellen Abwärme (Pehnt et al. 2010; Grote et al. 2015) wie auch der zukünftig nötigen Nutzung von Wärme aus Solarkollektorfeldern (Nitsch et al. 2011) der Pfad der gebäudeindividuellen Wärmeversorgung teilweise verlassen und der Pfad der Versorgung über Wärmenetze verstärkt eingeschlagen werden müsste. Auch der angepeilte Ausbau des ökologischen Landbaus geht nur langsam voran. Das in der Nachhaltigkeitsstrategie von 2002 ursprünglich für das Jahr 2010 gesetzte nationale Ziel von 20 Prozent Anteil an der landwirtschaftlichen Gesamtfläche würde bei der gegenwärtigen Entwicklung erst im Jahr 2080 erreicht (Göll und Henseling 2017, S. 87).

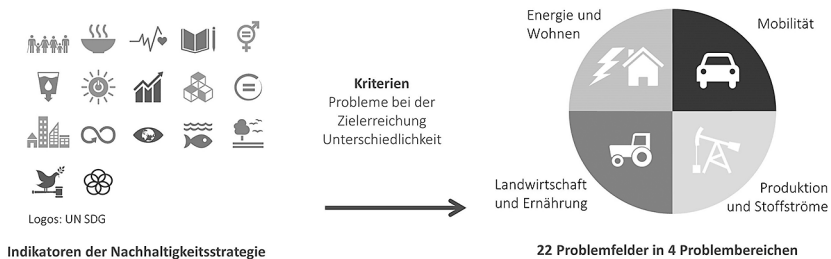
Schon im Antrag zu »evolution2green« waren zwei Kriterien für die Auswahl der zu untersuchenden Transformationsfelder aufgeführt worden:

- Ein mangelnder Zielerreichungsgrad bei den Nachhaltigkeitsindikatoren der Bundesregierung

- Die Abdeckung verschiedener Typen von Transformationsfeldern, z. B.
 - Probleme, gegen die überhaupt noch keine Maßnahmen ergriffen wurden (z. B. Recycling von Technologiemetallen)
 - Probleme, bei denen Maßnahmen bisher deutlich zu wenig Wirkung zeigen (z. B. Ökoanbaufläche)
 - Ökologische Marktsegmente, die nur zu langsam aus der Nische kommen (z. B. Wärmenetze)

Von diesen Kriterien ausgehend wurde im Herbst 2015 als erster Schritt in einem dreistufigen Verfahren eine Liste von 22 möglichen Transformationsfeldern in den Bereichen Energie und Wohnen, Mobilität, Landwirtschaft und Ernährung sowie Produktion und Stoffströme aufgestellt.

Abbildung 8: Erster Auswahlschritt für die Transformationsfeldanalysen



Quelle: Eigene Darstellung, adelphi.

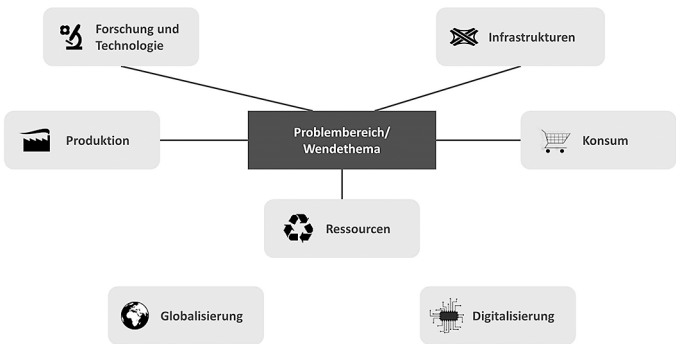
Auf der Sitzung des Expertenbeirats des Projektes wurde am 17. Dezember 2015 die Auswahl der Transformationsfelder diskutiert. Aus dem Kreis wurde eine Reihe von Aspekten benannt, die bei der Auswahl der Transformationsfelder zu berücksichtigen wären:

- Die Bedeutung der Felder für die nachhaltige Entwicklung, Mengenrelevanz
- Die Aussicht auf eine erfolgreiche Transformation, Handlungsfähigkeit und Umsetzbarkeit
- Die Berücksichtigung von Exnovationsprozessen
- Die Berücksichtigung von Globalisierung und Digitalisierung

Konkret empfohlen wurden die Transformationsfelder »Mobilität« (mit einem Fokus auf die forschungsintensive Automobilindustrie, an der Exnovationsperspektiven, Mythen und Narrative hängen), »Wärmeversorgung« (aufgrund ihrer Bedeutung für die Reduktion von Treibhausgasemissionen) sowie »Landwirtschaft und Ernährung«.

Unter Berücksichtigung der Positionen des Expertenbeirates wurden die Untersuchungsfelder durch das Projektteam konkretisiert und auf die Wendethemen »Pkw-Verkehr«, »Wärmeversorgung von Gebäuden«, »Landwirtschaft und Ernährung« sowie »Rohstoffe/Ressourcen« zugespitzt. Außerdem wurde eine Auswahlheuristik entwickelt, anhand derer die finale Auswahl erfolgte.

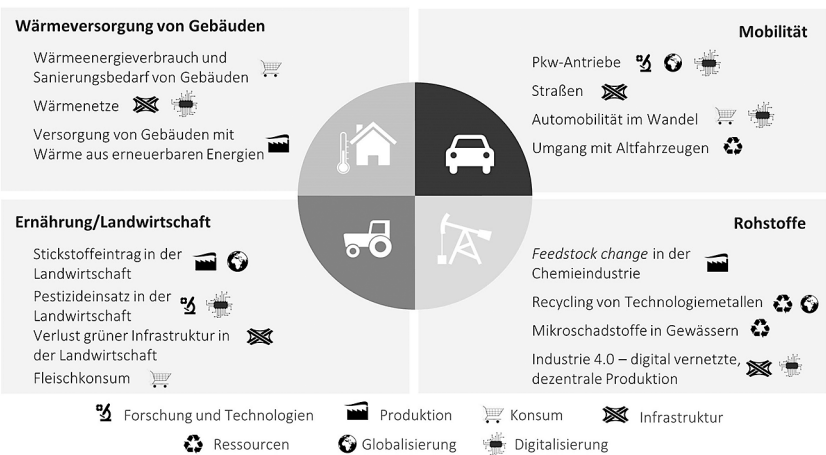
Abbildung 9: Auswahlheuristik für die Transformationsfeldanalysen



Quelle: Eigene Darstellung, adelphi.

Für jedes Wendethema wurden produktions- und konsumseitige, forschungs- und technologielastrige sowie mit Infrastrukturen und Ressourcen zusammenhängende Transformationsfelder identifiziert. Globalisierung und Digitalisierung wurden dabei als Querschnittsthemen mit berücksichtigt. Die finale Auswahl der Felder ist in der folgenden Übersicht dargestellt.

Abbildung 10: Finale Auswahl der Transformationsfeldanalysen



Quelle: Eigene Darstellung, adelphi.

Eine Relevanz für die nachhaltige Entwicklung ist bei allen ausgewählten Feldern gegeben. Ebenso sind zu allen Themen mehrere Transformationsansätze bekannt. Die so getroffene Auswahl deckt mit einigen Studien auch Globalisierungsaspekte ab (z. B. Altautoentsorgung, Technologiemetalle), bei anderen spielen Aspekte der Digitalisierung eine Rolle (z. B. Erneuerbare-Energien-Anteil [EE-Anteil] an der Gebäudewärmeversorgung, neue Nutzungskonzepte von Pkws). Exnovation spielt bei Pkw-Antrieben, indirekt auch beim EE-Anteil an der Gebäudewärmeversorgung eine Rolle.

Zur Prüfung und weiteren Verfeinerung des Analyseansatzes wurden bis Mitte März 2015 folgende drei Pilotanalysen durchgeführt:

- Altautoentsorgung (adelphi)
- Wärmenetz-Infrastrukturen (Borderstep)
- *Feedstock change* (IZT)

Im Rahmen der Analyse wurden mit ausgewählten Expertinnen und Experten Interviews durchgeführt, die zum Ziel hatten, die Pfadabhängigkeit und deren Faktoren in den einzelnen Themenfeldern (Binnenlogik und -kultur) besser zu verstehen. Außerdem wurde eruiert, ob und welche Art von Transformationsansätzen für einen möglichen/wünschenswerten Pfadwechsel in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung in Frage kommen und bereits diskutiert werden.

Im Wendethema »Pkw-Verkehr« wurden Pfadabhängigkeiten und Transformationsansätze im Bereich der Pkw-Antriebe (Clausen 2017d), der Straßen (Clausen 2017e), der Altautoentsorgung (Tappeser und Chichowitz 2017c) sowie neue Nutzungskonzepte von Pkw (Korte et al. 2017) untersucht. Im Wendethema »Landwirtschaft« fokussierten die Analysen auf den Fleischkonsum (Clausen und Mathes 2017), den Stickstoffeintrag in der Landwirtschaft (Tappeser und Chichowitz 2017b), den Pestizideinsatz in der Landwirtschaft (Tappeser und Chichowitz 2017a) sowie die grünen Infrastrukturen (Tappeser et al. 2017). Im Wendethema »Wärmeversorgung von Gebäuden« wurden Wärmenetze (Clausen 2017g), der Wärmeenergieverbrauch und Sanierungsbedarf von Gebäuden (Tappeser und Chichowitz 2017d) sowie der EE-Anteil an der Gebäudewärmeversorgung (Clausen und Hinterholzer 2017) untersucht. Und im Wendethema »Rohstoffversorgung« fokussierten die Transformationsfeldstudien auf *feedstock change* (Behrendt 2017a), Technologiemetalle (Behrendt 2017c), persistente Stoffe (*novel entities*) (Behrendt 2017b) sowie dezentrale Produktion (Odenbach et al. 2017). Die 15 Transformationsfeldstudien mit insgesamt 567 Seiten Umfang stehen unter www.evolution2green.de zum Download bereit.

4.1.2 Pfadabhängigkeiten in den vier Wendethemen

Die Pfadabhängigkeiten in den 15 Transformationsfeldern, die den vier Wendethemen bzw. Transformationsbereichen zugeordnet sind, sind in den 15 Transformationsfeldstudien im Detail beschrieben. Die 15 Studien wurden von den jeweiligen Autorinnen und Autoren erarbeitet und von jeweils zwei weiteren Mitgliedern des Projektteams aus den anderen Instituten mit Blick auf Bedeutung, Zuordnung und Beschreibung der identifizierten Pfadabhängigkeiten geprüft. Besonders bedeutende Fragen wurden in Telefonkonferenzen diskutiert. Um Strukturen hinter den vielfältigen in der Analyse ans Licht gebrachten Pfadabhängigkeiten zu erkennen, wurde wie folgt vorgegangen:

- Alle Pfadabhängigkeiten, die in den 15 Studien erwähnt wurden, wurden tabellarisch erfasst. Die Pfadabhängigkeiten blieben dabei den fünf Typen von Pfadabhängigkeiten zugeordnet.
- Nach dem Metaplanverfahren wurden diese Pfadabhängigkeiten auf Einzelkärtchen erfasst und vom Team des Borderstep Instituts geclustert. Innerhalb der fünf Pfadtypen wurden dabei Cluster möglichst ähnlicher Pfadabhängigkeiten gebildet. Die Clusterung wurde dem gesamten Projektteam zur Kommentierung vorgelegt. Die Cluster wiederum bilden die Basis für die detaillierte Typologie von Pfadabhängigkeiten.
- In Kenntnis dieser Typologie und mit Blick auf die Spezifika der jeweiligen Transformationsfelder und Wendethemen wurden anschließend von den für die Transformationsfeldstudien verantwortlichen Autorinnen und Autoren die in den folgenden Abschnitten erstellten Grafiken erarbeitet, mit denen insbesondere die Netzwerkbeziehungen zwischen den einzelnen Pfadabhängigkeiten herausgearbeitet wurden.
- Der Abschnitt »Typische Netzwerkbeziehungen von Pfadabhängigkeiten« stellt dann den vom Projektteam erarbeiteten Versuch dar, hinter diesen Netzwerkbeziehungen typische Muster zu identifizieren und beispielhaft darzustellen.

4.1.2.1 Pkw-Mobilität

Die folgende Tabelle gibt zunächst einen Überblick über die 51 Pfadabhängigkeiten, die in den vier Transformationsfeldstudien im Feld »Pkw-Mobilität« gefunden wurden (Clausen 2017d, 2017e; Korte et al. 2017; Tappeser und Chichowitz 2017c). Eine starke Pfadabhängigkeit stabilisiert dabei aus Sicht der Autorinnen oder Autoren der jeweiligen Transformationsfeldstudie das System mit seinen Akteurinnen und Akteuren in hohem Ausmaß. Sie stellt damit ein besonders starkes Hemmnis für einen Pfadwechsel dar.

Tabelle 4: Anzahl an Pfadabhängigkeiten im Pkw-Verkehr nach Stärke und Art

Stärke der Pfadabhängigkeit	Art der Pfadabhängigkeit					Summe
	Rechtlich	Ökonomisch	Technisch	Organisational	Nutzerbezogen	
stark	10	5	7	5	3	30
mittel und schwach	4	8	2	2	5	21
Summe	14	13	9	7	8	51

Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Die größte Anzahl an Pfadabhängigkeiten findet sich bei den rechtlichen und ökonomischen; demgegenüber konnten nur wenige organisationale und nutzerbezogene Pfadabhängigkeiten identifiziert werden. Etwas über die Hälfte der Pfadabhängigkeiten wurde als »stark« eingestuft.

Im Bereich Pkw-Mobilität können drei Systeme von Pfadabhängigkeiten unterschieden werden. Dies ist zum einen das sich selbst stabilisierende und konsumorientierte System der Straßen in Verbindung mit der Gewöhnung an das Automobil zur Bewältigung langer Strecken. Deutlich andere Dynamiken stabilisieren das System der Verbrennungsmotoren und wiederum anders wirken die Pfadabhängigkeiten bei der Fahrzeugentsorgung zusammen.

Straßenbau und Automobilität

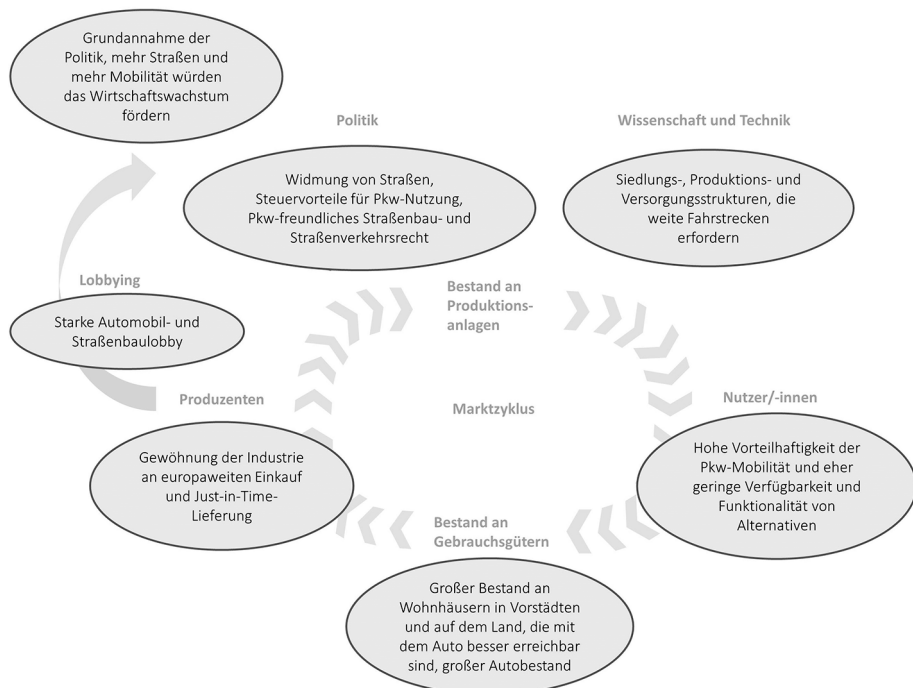
Das Lock-in-System in Straßenbau und Automobilität ist gekennzeichnet durch eine sehr hohe Abhängigkeit von gebauten Infrastrukturen und aus ihnen folgenden Mobilitätsanforderungen (Clausen 2017d; Korte et al. 2017).

Die Tatsachen,

- dass erhebliche Anteile der Wohn- wie auch der Gewerbegebiete durch den öffentlichen Nahverkehr nur mäßig erschlossen sind,
- dass die zur Arbeit, zum Einkaufen und zu den Schulen zurückzulegenden Strecken durch Gewöhnung an das Automobil immer länger geworden sind,
- dass wohnortnahe Versorgungsinfrastrukturen (Läden, Schulen, Ärzte usw.) in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich ausgedünnt wurden und
- dass die Siedlungsdichte vielerorts zu niedrig ist, um Carsharing-Angebote wirtschaftlich zu betreiben und Carsharing-Angebote zum täglichen Pendeln zur Arbeit ohnehin weder ökonomisch noch ökologisch viel verbessern,

führen dazu, dass die Nutzung eines Automobils für viele Bürgerinnen und Bürger einen weiterhin hohen Nutzen im Alltag hat. Der Lock-in-Typ ist getrieben durch gebaute Infrastrukturen und vielfältige Nutzungserfordernisse. Der Komplex aus Produzenten, Lobbystrukturen und rechtlichen Regeln spielt demgegenüber eine – auch im Vergleich zu anderen Lock-in-Strukturen – eher sekundäre Rolle.

Abbildung 11: Lock-in-System in Straßenbau und Automobilität



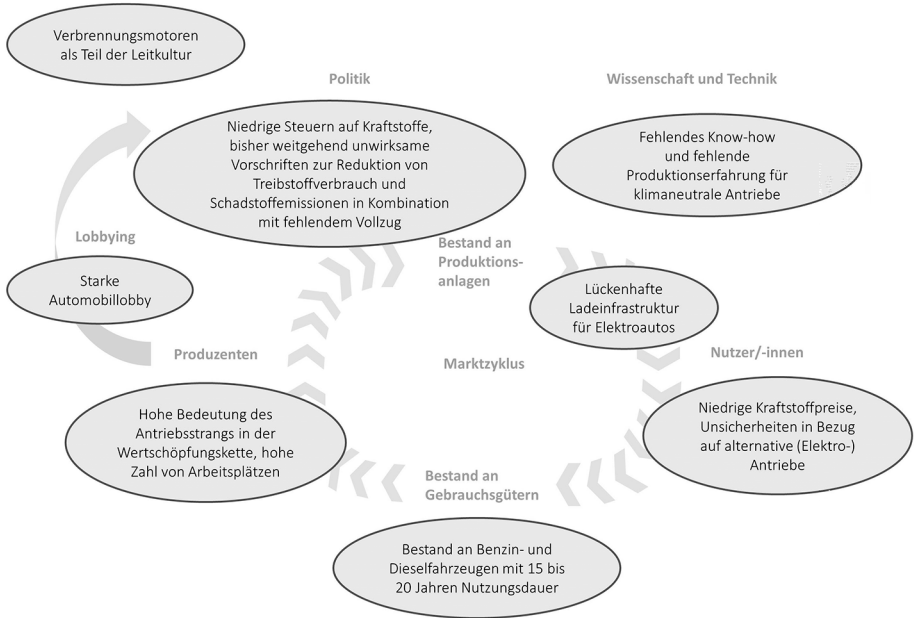
Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Pkw-Antriebe

Das technologische Lock-in in die Produktion von Autos mit Benzin- und Dieselantrieb hat einen wesentlich instabileren Charakter als der Bedarf an Straßen und Autos an sich (Clausen 2017d). Zwar verfügen Millionen Nutzerinnen und Nutzer über Autos mit Verbrennungsmotor, deren mögliche Nutzungsdauer sich auf die Dauer eines möglichen Pfadwechsels auswirkt, ihre Mobilitätsbedürfnisse werden sie zukünftig aber auch mit Elektroautos ohne wesentliche Einbußen bei der Nutzung befriedigen können. Mittelfristig besteht sogar die Chance auf eine im Vergleich zum Verbrenner deutlich günstigere Automobilität.

Der Kern der Lock-in-Struktur besteht daher in den (begrenzten) technischen Fähigkeiten der Produzenten zur Produktion von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben. Weder das Wissen in Form von Patenten (Clausen 2017d) noch die Produktionsanlagen für wesentliche Komponenten sind zur Zeit in Deutschland vorhanden. Die durch Lobbyaktivitäten geschaffenen und gegen die Erfordernisse des Klimaschutzes verteidigten Vorteile für die Verbrennertechnologie sowie das erfolgreiche Unterlaufen von Vorschriften zur Senkung des Verbrauchs und Reduktion des Schadstoffausstoßes führt die deutschen Hersteller gegenwärtig in

Abbildung 12: Lock-in-System Pkw-Antriebe



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

eine Situation, die der ehemalige Umweltminister Jürgen Trittin wie folgt charakterisiert: »Wir müssen uns fragen, wie man verhindern kann, dass es den deutschen Autoherstellern so geht wie RWE und Eon: Entwicklung verpennt und plötzlich randständig« (Hannoversche Allgemeine Zeitung 2017a).

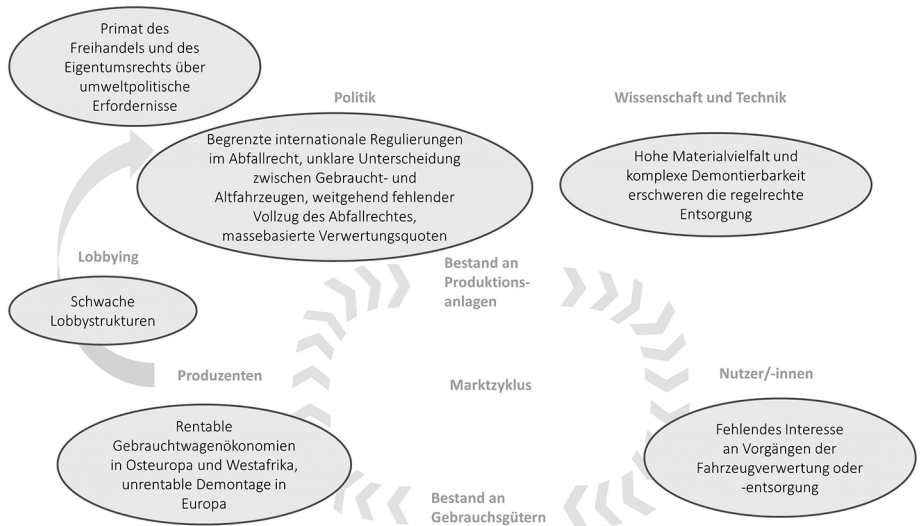
Ähnlich wie auch die landwirtschaftliche Produktion lässt sich das Lock-in als technologisch-ökonomisch-politisches System beschreiben.

Pkw-Entsorgung

Wiederum einer anderen Logik folgt die bisher aus Umweltsicht wenig erfolgreiche Entwicklung der Fahrzeugentsorgung (Tappeser und Chichowitz 2017c). Nur rund eine halbe Million der in 2013 schätzungsweise 2,86 Millionen Altfahrzeuge wurde in Deutschland als Altfahrzeug deklariert und dem offiziellen Verwertungsregime zugeführt. Mindestens 1,6 Millionen, wahrscheinlicher jedoch gut zwei Millionen Fahrzeuge verließen als Gebrauchtwagen das Land (Tappeser und Chichowitz 2017c, S. 8).

Zwar lässt sich das Lock-in auch hier als technologisch-ökonomisch-politisches System beschreiben, aber die Dynamiken sind deutlich unterschiedlich. Basierend auf dem Eigentumsrecht und dem international (noch?) gültigen Primat des Freihandels hat sich ein System entwickelt, in dem kaum noch nutzbare Altfahrzeuge

Abbildung 13: Lock-in-System Pkw-Entsorgung



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

als Gebrauchtwagen deklariert und exportiert werden. In den Zielländern werden sie zu deutlich niedrigeren Lohnkosten repariert und einer neuen Nutzungsphase zugeführt. Die Vorteile dieses Systems kommen im Wesentlichen einer Gruppe von teilweise im rechtlichen Graubereich agierenden Exporteuren sowie den Werkstätten und Nutzerinnen und Nutzern in den Zielländern zugute. Deutsche Akteurinnen und Akteure wiederum ersparen sich die aufwendige Demontage und das Recycling. Den Autobesitzerinnen und -besitzern scheint der Verbleib ihrer Fahrzeuge im Wesentlichen egal zu sein.

4.1.2.1.1 Pfadabhängigkeiten und Transformationsansätze

Als Transformationsansätze rund um die Automobilität sind aufzuführen:

- Verschiedene Konzepte der verkehrsberuhigten, fußgänger- und fahrradfreundlichen Umgestaltung von Straßen innerhalb von Siedlungen sowie das Ziel, überörtliche Straßen nicht weiter aus- oder sogar rückzubauen, als Suffizienzstrategien (Clausen 2017e)
- Die Ausrüstung des Straßennetzes mit Verkehrslenkungssystemen (vorwärtskompatibel auch als Vorbereitung auf das autonome Fahren) als Effizienzstrategie sowie mit Ladesystemen für die Elektromobilität als kombinierte Effizienz-Konsistenz-Strategie (Clausen 2017e)

- Verschiedene Formen von Carsharing und multimodaler Mobilität sowie auch zukünftige Modelle des autonomen Fahrens (ggf. ohne eigenes Eigentum am Auto), die sämtlich Effizienzstrategien sind (Korte et al. 2017)
- Verschiedene Formen alternativer und perspektivisch klimaneutraler Antriebe, die mit Blick auf ihre Versorgung mit erneuerbarer Energie als Konsistenzansatz einzuordnen sind (Clausen 2017d)
- Die recyclinggerechte Fahrzeugkonstruktion und die vermehrte Zuführung von Fahrzeugen zu inländischen Verwertungsprozessen und internationale Recyclingpartnerschaften, die alle Effizienz und Konsistenz (im Sinne von Materialkreisläufen) verknüpfen (Tappeser und Chichowitz 2017c)

Die Felder sind dabei stark verwoben: Infrastruktur und Antriebstechnik stehen etwa in direkten Wechselwirkungen (z. B. Aufbau ausreichender Elektro-Ladestationen), ein gleichzeitiges Vorantreiben mehrerer Aspekte ist daher unabdingbar.

Auch zur Nutzung multimodaler Mobilität oder von Carsharing stellt das Vorhandensein verschiedener, möglichst aneinander angepasster Verkehrsmittel bzw. das Vorhandensein von Carsharing-Betreibern eine notwendige Bedingung dar. Vernetzte Autos bzw. autonomes Fahren betreffen sowohl die Technikentwicklung als auch die nötige Infrastruktur.

Zur Stabilisierung tragen zunächst die mächtige Autolobby und allgemein das selbstreproduzierende System in der Autoindustrie mit der großen Zahl an von ihr abhängigen Arbeitsplätzen bei. Rechtlich wird das Auto auf mehreren Ebenen bevorzugt.

Das etablierte System der Straßen wird stabilisiert durch rechtliche Pfadabhängigkeiten im Straßenbau- und Straßenverkehrsrecht, z. B. die dauerhafte Widmung von Straßen, sowie durch vielfältige ökonomische und organisationale Pfadabhängigkeiten.

Eine Reihe spezieller Pfadabhängigkeiten wirkt sich nur auf einzelne Transformationsansätze aus:

Konstruktion und Antrieb: Bezüglich der Antriebstechnik wirken sich neben den auch durch Steuervorteile erzeugten niedrigen Preisen für fossile Kraftstoffstoffe und dem hohen Wert des Antriebsstranges am Gesamtwert auch unwirksame bzw. mangelhaft vollzogene rechtliche Instrumente (z. B. bzgl. NO_x - und Feinstaubemissionen) auf die geringe Pfadwechsellmotivation aus. Forschung und Entwicklung sind auf Verbrennungskraftmaschinen spezialisiert, weshalb alternative Antriebstechnologien technologisch noch nicht mit Verbrennungsmotoren gleichziehen können und es deutschen Automobilhersteller an Know-how mangelt. Bei den Herstellungskosten für Elektroautos machen die Batterien den Löwenanteil aus – in Deutschland werden jedoch keine Lithium-Ionen-Batterien hergestellt. In der Produktion spielt bisher die Möglichkeit der späteren Demontierbarkeit keine wirkliche Rolle.

Nutzung und Infrastruktur: Die Pfadabhängigkeiten des Nutzens von Mobilität und der Infrastruktur gehen fließend ineinander über und bedingen sich wechselseitig. Unter dem Aspekt des Nutzens stellt sich der geringe relative Vorteil von Angeboten wie Carsharing oder öffentlichen Verkehrsmitteln als Pfadabhängigkeit dar. Das eigene Auto, das ja ohnehin bei vielen bereits vor der Wohnungstür steht, ist verknüpft mit Freiheits- und Unabhängigkeitsgefühlen, will als Statussymbol präsentiert werden und bietet Schutz als privater Raum. Die Zahlungsbereitschaft für Pkws ist hoch. Zudem wird das Auto als Mobilitätsmittel steuerlich bevorzugt, doch für elektrobetriebene Fahrzeuge fehlt es vielfach an (öffentlichen) Ladestationen und nutzerbezogen an Wissen hierzu.

Recycling: Relativ unabhängig von bisher genannten Pfadabhängigkeiten zeigen sich die Recycling-Ansätze. Hier macht die hohe (und im Zuge der Digitalisierung weiter zunehmende) Materialienvielfalt der Fahrzeuge eine komplexe Demontage notwendig. Unter dem Primat des Freihandels und der nicht unbedeutenden wirtschaftlichen Rentabilität zeigen sich gesetzliche Lücken, insbesondere bezogen auf die nationalen Regulierungskompetenzen sowie die Schwierigkeit der Definition von Gebraucht- und Altfahrzeugen. In den Export-Zielländern hängen viele Arbeitsplätze am Geschäft. Die erhöhte Rückführung in inländische Verwertungsstrukturen wird gehemmt durch mengenbasierte Verwertungsquoten. Nutzerinnen und Nutzer interessieren sich zudem wenig für die Restverwertung ihrer Pkws.

4.1.2.1.2 Fazit

Den geringsten Einfluss haben die existierenden Pfadabhängigkeiten auf die Suffizienzstrategien bei der Gestaltung innerörtlicher Straßen. Der Einfluss der Pfadabhängigkeiten wird im Durchschnitt als »niedrig bis mittel« eingestuft.

Die Effizienzansätze (die teilweise und abhängig von Rahmenbedingungen in einen Suffizienz- und Konsistenzcharakter übergehen) der alternativen Mobilität (Carsharing, autonomes Fahren, multimodale Mobilität), der Verkehrslenkung und des Hybridantriebs werden etwas stärker durch Pfadabhängigkeiten gebremst. Der Einfluss der Pfadabhängigkeiten wird aber auch hier durchschnittlich als »knapp mittel« eingestuft.

Die kombinierten Effizienz- und Konsistenzansätze des Fahrzeugrecyclings werden durch Pfadabhängigkeiten in »mittlerer« Stärke behindert.

Die Konsistenzansätze der Antriebe durch erneuerbaren Strom in Elektro- oder Brennstoffzellenautos werden durch Pfadabhängigkeiten »knapp stark« behindert.

Die Analyse der Pfadabhängigkeiten rund um die Pkw-Mobilität führt wenig überraschend nicht zu einem völlig neuen Blick auf die Schwierigkeiten bei der Transformation der Individualmobilität. In drei Aspekten schärft sie jedoch den Blick auf Probleme bei der Veränderung:

- Das ausgesprochen starke Lock-in aufgrund »gebauter Strukturen« in Straßenbau und Siedlungsstruktur dämpft die Erwartungen, dass mit Transformationsansätzen wie Carsharing die gesamte Pkw-Mobilität deutlich, d. h. um 20 Prozent oder mehr, reduziert werden kann.
- Die Tatsache, dass in Deutschland mehr als 40 Millionen Pkw im Einsatz sind, zeigt, dass die Transformation genügend Zeit braucht, um diese hohe Zahl an Pkws erst auszunutzen und dann auszutauschen. Der politische Planungshorizont sollte länger sein als die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Pkws.
- Es wird deutlich, dass der mit der Autonutzung verbundene hohe Ressourcenbedarf zurzeit nur zu einem sehr kleinen Teil durch Recycling gedeckt wird. Ökonomische Pfadabhängigkeiten haben die Recyclingwirtschaft in eine Exportwirtschaft gewandelt; eine Erhöhung der Recyclingquote ist damit kein »innerdeutsches Umweltthema«, sondern ein mit der Globalisierung zusammenhängendes ökonomisch-ökologisches Thema.

4.1.2.2 Landwirtschaft und Ernährung

Im Themenfeld »Landwirtschaft« wurden insgesamt 64 Pfadabhängigkeiten dokumentiert, die in den vier Transformationsfeldstudien gefunden wurden (Clausen und Mathes 2017; Tappeser und Chichowitz 2017a, 2017b; Tappeser et al. 2017).

Tabelle 5: Anzahl an Pfadabhängigkeiten in Landwirtschaft und Ernährung nach Stärke und Art

Stärke der Pfadabhängigkeit	Art der Pfadabhängigkeit					Summe
	Rechtlich	Ökonomisch	Technisch	Organisational	Nutzerbezogen	
stark	19	6	8	13	5	51
mittel und schwach	1	4	5	1	2	13
Summe	20	10	13	14	7	64

Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

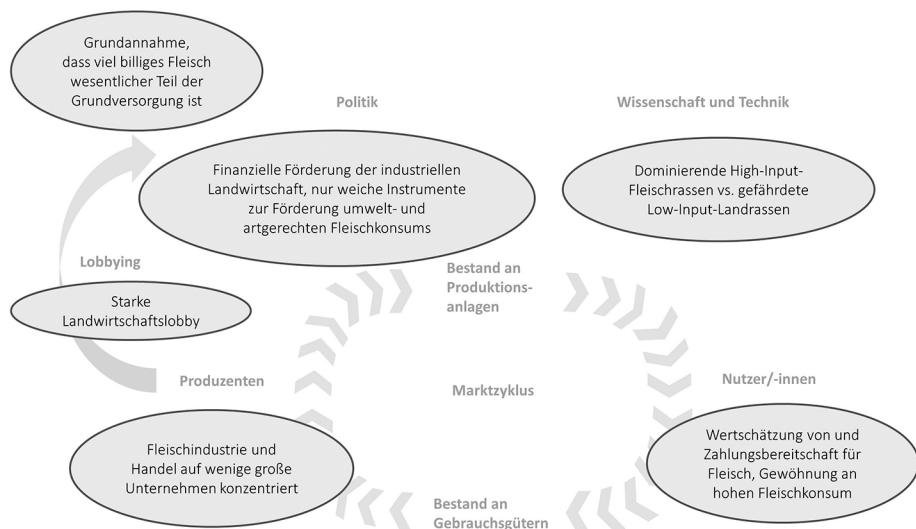
Vielen rechtlichen Pfadabhängigkeiten stehen nur wenige nutzungsbezogene Pfadabhängigkeiten gegenüber. Zahlreiche Pfadabhängigkeiten wurden als »stark« eingestuft.

Es konnten ein sich selbst stabilisierendes und konsumorientiertes System des hohen Fleischkonsums sowie ein technologisch-ökonomisch-politisches System von Pfadabhängigkeiten der landwirtschaftlichen Produktion mit seinen Transformationsfeldern »Stickstoffeinsatz«, »Pestizideinsatz« und »grüne Infrastrukturen« identifiziert werden.

Fleischkonsum

Im Kontext des Fleischkonsums existiert ein weitgehend stabiler Markt, in dem eine hochkonzentrierte Fleischbranche in Produktion und Handel preiswerte Produkte zur Verfügung stellt, die die meisten Konsumentinnen und Konsumenten wertschätzen und kaufen (Clausen und Mathes 2017). Die Produktion baut auf der industriellen Haltung von High-Input-Rassen auf und ist durch die Sonderstellung der Landwirtschaft im Umweltrecht wie auch durch die finanzielle Förderung der konventionellen Landwirtschaft abgesichert. Die Förderlogik beruht auf der von Wirtschaft und Politik vertretenen und durch Lobbying verstärkten Annahme, dass viel billiges Fleisch wesentlicher Teil der Grundversorgung sein muss.

Abbildung 14: Lock-in-System Fleischkonsum



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Die Transformation dieses Regimes erfolgt einerseits dadurch, dass einzelne Konsumentinnen und Konsumenten das System »verlassen« und als Vegetarier/-innen oder Veganer/-innen dem Fleischkonsum den Rücken kehren. Eine Reaktion des Systems auf dieses Verhalten ist kaum möglich und findet nur begrenzt und in einzelnen Fällen statt (Clausen und Fichter 2016, S. 30).

Ein zweiter Ansatz sind vielfältige und wiederkehrende Informationsbemühungen aus der Gesundheits- und Umweltpolitik, um den Fleischkonsum zu reduzieren oder den Konsum von Fleisch aus artgerechterer oder umweltschonender Produktion, z. B. Biofleisch, zu steigern. Eingesetzt werden durchweg weiche politische Instrumente der Information und Kommunikation, deren Wirkung auf

die Transformation der Märkte bisher begrenzt ist. Der vom Umweltbundesamt im Januar 2017 ins Gespräch gebrachte Vorschlag, Fleisch durch eine Erhöhung des Mehrwertsteuersatzes zu verteuern (Köder und Burger 2016, S. 67) und so erstmals ein »härteres« Instrument einzusetzen, wurde von den Lobbys und dem Mainstream der Politik spontan und entrüstet zurückgewiesen.

Einsatz von Stickstoff und Pestiziden sowie grüne Infrastrukturen

Etwas anders sieht das Lock-in-System beim Einsatz von Stickstoff und Pestiziden sowie bei grünen Infrastrukturen aus (Tappeser et al. 2017; Tappeser und Chichowitz 2017a, 2017b). Die Rolle der Konsumentinnen und Konsumenten wie sogar der Landwirtinnen und Landwirte ist hier eher passiv. In der Produktion dominieren hochentwickelte und integrierte Technologiesysteme, typischerweise speziell gezüchtete oder gentechnisch hergestellte Pflanzensorten, deren Einsatz untrennbar mit dem Einsatz von Dünger und oft spezifischen Pestiziden verbunden ist und die kostengünstig zu produzieren und vielfach äußerst umweltschädlich sind.

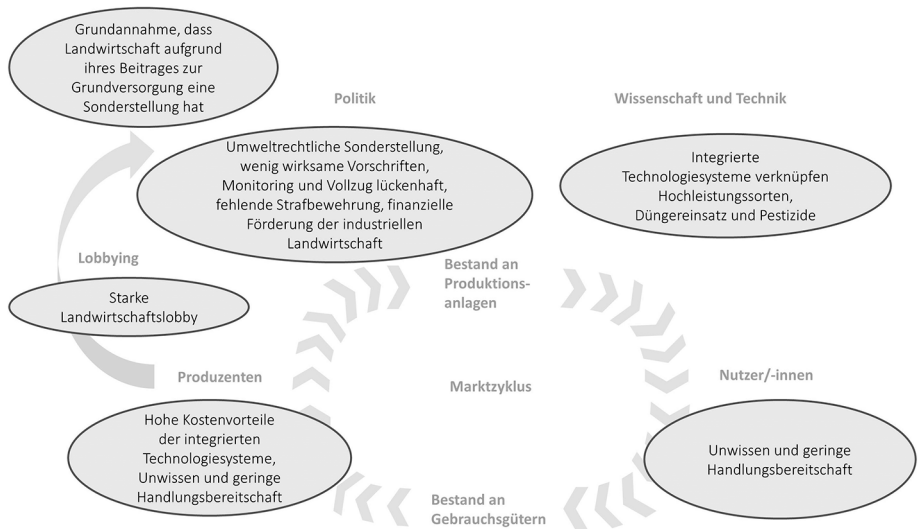
Wesentliche Profiteure dieses Systems sind Agrarkonzerne sowie letztlich auch Handel und Konsumentinnen und Konsumenten, denen, so lange das System nicht zum ökologischen Kollaps führt, preiswerte Nahrungsmittel zur Verfügung stehen.

Die zentrale Stabilisierung des Systems erfolgt auf Basis der Grundannahme, dass die Landwirtschaft aufgrund ihres Beitrages zur Grundversorgung eine Sonderstellung im Umweltrecht hat. Diese Sonderstellung hat zur Folge, dass viele umweltbezogene Vorschriften in der Landwirtschaft bisher wenig wirksam sind, dass ein nur lückenhaftes Monitoring stattfindet und der Vollzug ebenso große Schwächen aufweist. Wird dennoch ein Rechtsverstoß entdeckt, fehlt manchmal eine Strafbewehrung. Hinzu kommt die finanzielle Förderung der industriellen Landwirtschaft.

Als grundsätzliche Alternative zu diesem vorherrschenden System der Agrarproduktion bietet sich der ökologische Landbau an, der jedoch seinen Marktanteil aufgrund hoher Kostennachteile nur langsam und in engen Grenzen ausweitet. Die staatlichen Labelsysteme und die finanzielle Förderung des Ökolandbaus reichen bis dato nicht aus, seine Kostennachteile am Markt auszugleichen.

Der Einsatz von Pestiziden und Dünger soll auch durch Effizienzstrategien verringert werden. Der Ausbau bzw. die Sicherung grüner Infrastrukturen soll durch Unterschutzstellung und Renaturierung erfolgen.

Abbildung 15: Lock-in-System beim Einsatz von Stickstoff und Pestiziden sowie bei grünen Infrastrukturen



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

4.1.2.2.1 Pfadabhängigkeiten und Transformationsansätze

Als Transformationsansätze sind im Bereich Landwirtschaft und Ernährung aufzuführen:

- Vegetarismus und Veganismus als individuelle und suffiziente Wege, das System des Fleischkonsums zu verlassen (Clausen und Mathes 2017)
- Der ökologische Landbau, der als konsistenter Ansatz die in vielfältiger Weise umweltgerechtere Agrarproduktion mit artgerechterer Tierhaltung verbindet (Clausen und Mathes 2017; Tappeser und Chichowitz 2017a, 2017b; Tappeser et al. 2017)
- Mengenreduktionsstrategien, mit denen als Effizienzansätze und vielfach im Rahmen einer »Digitalisierung der Landwirtschaft« die innerbetriebliche Stickstoffbilanz verbessert, der überregionale Nährstoffausgleich gefördert oder Pestizide gezielter und in kleinen Mengen ausgebracht werden sollen (Tappeser und Chichowitz 2017a, 2017b)
- Der Schutz von Landschaftselementen und die Renaturierung von Lebensräumen, die Konsistenz und Suffizienz verbinden (Tappeser et al. 2017)

Die Betrachtung der Pfadabhängigkeiten bezogen auf Transformationsansätze zeigt eine Art Schalensystem: Im Kern stehen die einzelnen Transformationsansätze, welche durch spezifische Pfadabhängigkeiten gehemmt werden. Die zweite

Schale formt der nationale rechtliche und organisatorische Rahmen. Die internationale Konkurrenz schließlich bildet die dritte Ebene der Diffusionshemmnisse.

Erste Schale: spezifisch wirkende Pfadabhängigkeiten

Bezüglich des Ansatzes der innerbetrieblichen Stickstoffeffizienz zeigt sich:

- Das Düngerecht ist wenig wirksam, die Förderung von Bio-Energie durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sorgt für erhöhte Stickstoffeinträge.
- Hochleistungs-Hybridsorten sind hochrentierlich, benötigen eine hohe Stickstoffverfügbarkeit sowie oft auch den Einsatz spezifischer Pestizide und bilden als System eine starke ökonomische Pfadabhängigkeit.
- Die schwierige Abschätzbarkeit des Nährstoffgehaltes von Wirtschaftsdünger macht seine optimale Nutzung kompliziert.

Dem Ansatz des überregionalen Nährstoffaustausches mangelt es zur Umsetzung an Technologien und Praktiken.

Die Reduktion der Pestizidverwendung in der Landwirtschaft wird u. a. gehemmt durch

- den hohen Bedarf an Pestiziden durch Monokulturen und Hochleistungssorten,
- die letztlich hohe Rentabilität der Pestizidverwendung,
- den Mangel an landwirtschaftlichem Fachwissen im Umgang mit geringen Pestizidmengen.

Im Bereich »grüne Infrastruktur« zeigen sich insbesondere ökonomische Pfadabhängigkeiten. Für Landwirtinnen und Landwirte ist es schlicht nicht wirtschaftlich, Grünstreifen zu ermöglichen. Rechtliche Rahmenbedingungen, etwa in Form des Natura-2000-Schutzgebietsnetzwerks, sind nicht effizient.

Innerhalb der Fleischwirtschaft sind es wenige große Firmen, welche vielen Menschen einen Arbeitsplatz bieten. Die Fleischproduktion wird indirekt durch Agrarsubventionen stark gefördert, während Kontrollen von Umweltauflagen und der artgerechten Tierhaltung lückenhaft sind.

Pfadabhängigkeiten, die Vegetarismus bzw. Veganismus im Wege stehen, sind auf der Nutzerebene anzusiedeln: Allgemein ist die Wertschätzung wie auch der durchschnittliche Konsum von Fleisch und tierischen Lebensmitteln hoch. Der Konsum ist tief in der alltäglichen Lebenswelt verankert und gilt geradezu als Teil deutscher Leitkultur.

Dem ökologischen Landbau ist als spezifisch wirkende Pfadabhängigkeit nur der Fachkräftemangel zuzuordnen, er wird jedoch durch fast alle anderen Pfadabhängigkeiten indirekt ebenfalls behindert.

Zweite Schale: nationale rechtliche und organisatorische Konstrukte

Auf nationaler Ebene ist die sehr starke und mächtige Landwirtschaftslobby auszumachen, die zudem Einfluss auf die rechtliche Trennung von Landwirtschafts- und Umweltverwaltung hat. Landwirtschafts- und Umweltverwaltung sind auf allen Ebenen getrennt und folgen ihrem System nach unterschiedlichen Logiken.

Rechtliche Konstrukte zum Schutz der Umwelt erweisen sich daher sowohl in der Konstruktion als auch im Vollzug an vielen Stellen als lückenhaft; die Landwirtschaft kann ihre Sonderstellung unhinterfragt behaupten. Hinzu kommen als unterkomplex bewertete Modelle der Risikobewertung.

Landwirtschaft findet in Deutschland im Spannungsfeld eines hohen Kosten-drucks statt, getrieben durch die Nachfrage der Verbraucherinnen und Verbraucher nach preiswerten Lebensmitteln. Quer zu den spezifischen Pfadabhängigkeiten wirkt daher die Problematik der mangelnden Internalisierung externer Kosten im etablierten System, wodurch nachhaltige Produkte und Verfahren meist kaum wettbewerbsfähig mit den konventionellen Produkten sind.

Nicht-nachhaltige Ansätze werden zusätzlich durch die oft nicht-nachhaltigen »Grundzüge der Gemeinsamen Agrarpolitik« der EU stabilisiert.

Dritte Schale: internationaler Wettbewerb

Selbst wenn nationale Hemmnisse im hohen Maße beseitigt wären, ist noch immer mit der internationalen Konkurrenz zu rechnen, welche schon jetzt Massen an vielfältigen Agrarprodukten zu sehr günstigen Preisen auch auf den deutschen Markt bringt und so einen großen Konkurrenz- und Kostendruck erzeugt.

4.1.2.2.2 Fazit

Den geringsten Einfluss haben die existierenden Pfadabhängigkeiten auf die Suffizienzstrategien Vegetarismus und Veganismus. Dem freiwilligen Verlassen des Systems können die etablierten Strukturen des Regimes nichts entgegensetzen. Der Einfluss der Pfadabhängigkeiten wird im Mittel als »niedrig« eingestuft.

Die Effizienzansätze der Mengenreduktionsstrategien werden durch Pfadabhängigkeiten deutlich stärker behindert. Der Einfluss der Pfadabhängigkeiten wird durchschnittlich als »mittel bis stark« eingestuft.

Die Strategien zum Schutz grüner Infrastrukturen verbinden Konsistenz und Suffizienz; sie werden ebenfalls durch Pfadabhängigkeiten »mittel bis stark« behindert.

Der Ökolandbau erweist sich als die universellste Transformationsstrategie. Er würde in allen vier hier untersuchten Transformationsfeldern die Entwicklung entscheidend und positiv vorantreiben. In allen vier Studien wurde jedoch die Stärke sämtlicher gegen die Verbreitung des Ökolandbaus wirkender Pfadabhängigkeiten als »stark« beurteilt. Die Überwindung der gegen diese Transfor-

mationsstrategie wirkenden Pfadabhängigkeiten stellt damit die größte Herausforderung dar.

Die Analyse der Pfadabhängigkeiten rund um die Landwirtschaft weist auf einen zentralen stabilisierenden Faktor hin. Gleichzeitig lässt sie einen wichtigen Treiber eines möglichen Lock-out erkennen:

- Die Basis der Stabilität des landwirtschaftlichen Produktionssystems ist die Grundannahme, dass die Landwirtschaft aufgrund ihres Beitrages zur Grundversorgung einer Sonderstellung im Umweltrecht bedarf. Die Durchsetzung von Umweltvorschriften findet zudem teilweise nicht durch die Umwelt-, sondern durch die Landwirtschaftsverwaltung statt. Der Vollzug weist vielfältige Lücken auf.
- Charakteristisch für den Fleischkonsum ist der individuelle Charakter der Entscheidung, was man isst. Dabei hat das etablierte Regime kaum eine Möglichkeit zu verhindern, dass einzelne Konsumentinnen und Konsumenten das System des Fleischkonsums »verlassen« und zu einer vegetarischen oder veganen Ernährung wechseln. Vielmehr wird das alternative Angebot weiter ausgebaut.

4.1.2.3 Wärmeversorgung

In den drei Transformationsfeldstudien des Bereichs »Wärmeversorgung« (Clausen 2017g; Clausen und Hinterholzer 2017; Tappeser und Chichowitz 2017d) wurden insgesamt 49 Pfadabhängigkeiten identifiziert.

Tabelle 6: Anzahl an Pfadabhängigkeiten in der Wärmeversorgung nach Stärke und Art

Stärke der Pfadabhängigkeit	Art der Pfadabhängigkeit					Summe
	Rechtlich	Ökonomisch	Technisch	Organisational	Nutzerbezogen	
stark	12	7	5	6	4	34
mittel und schwach	1	4	4	5	1	15
Summe	13	11	9	11	5	49

Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Betrachtet man die Anzahl und Stärke der verschiedenen Pfadabhängigkeiten, zeigt sich eine leichte Dominanz rechtlicher Pfadabhängigkeiten; aber auch ökonomische, organisationale und technische Pfadabhängigkeiten spielen eine wichtige Rolle. Nutzerbezogene Pfadabhängigkeiten sind weniger häufig, werden jedoch größtenteils als »stark« bewertet.

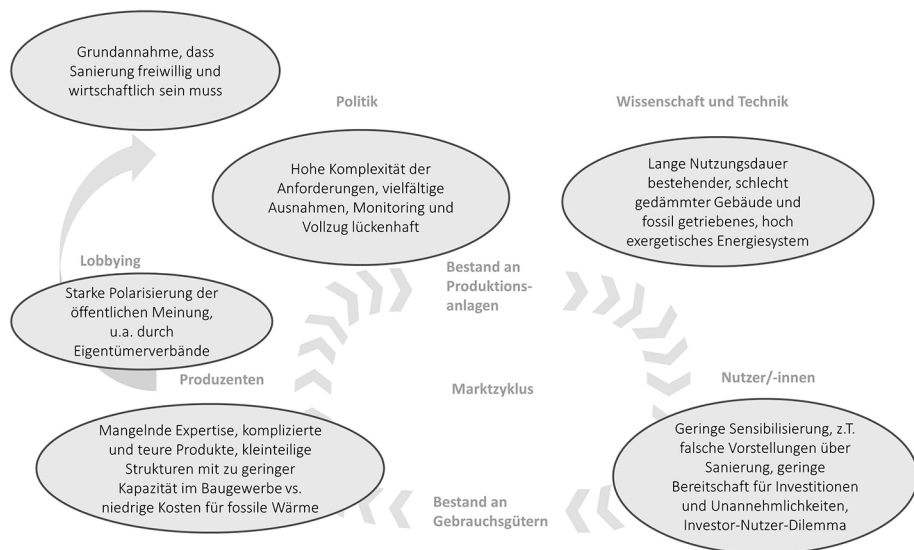
Die drei untersuchten Transformationsfelder »Energieverbrauch von Gebäuden mit Fokus auf den Sanierungsbedarf im Bestand«, »Wärmebereitstellung in Einzelgebäuden« und »Wärmenetze« lassen zwei eng miteinander verknüpfte Systeme von Pfadabhängigkeiten erkennen. Einerseits besteht auf der Verbrauchsseite ein Geflecht von ökonomischen, nutzerbezogenen, rechtlichen und organisationalen

Pfadabhängigkeiten, die eine höhere Sanierungstätigkeit verhindern. Andererseits besteht auf Bereitstellungsseite ein technologisch-ökonomisches System der fossilen Wärmeerzeugung auf Einzelhausbasis, das nur schwierig zu durchbrechen ist.

Wärmeenergieverbrauch von Gebäuden

Im Kontext der Sanierung werden langlebige Gebäude in oft sehr kleinteiligen Besitzstrukturen zuverlässig und vergleichsweise günstig durch fossile Wärme versorgt, sodass Nutzerinnen und Nutzer sowie Besitzende wenig Eigeninteresse an einer energetischen Sanierung entwickeln und entsprechend nur in geringem Maße bereit für Investitionen, Aufwand, Lärm und Unannehmlichkeiten sind. In Mietgebäuden und bei Eigentümergemeinschaften sind Finanzierung und Entscheidungsfindung besonders schwierig. Dienstleistungen zur Durchführung der Sanierung sind für Kundinnen und Kunden wenig überschaubar und mit Risiken behaftet, die durch Mythen und negative Schlagzeilen im öffentlichen Diskurs medial verstärkt werden. Gesetzliche Vorgaben sind denkbar kompliziert, werden kaum kontrolliert und beruhen auf der durch Eigentümerlobbys verstärkten Grundannahme, dass energetische Sanierungen nur im Falle einer freiwilligen So-wieso-Sanierung und unter dem Gebot der Wirtschaftlichkeit stattzufinden haben.

Abbildung 16: Lock-in in einen hohen Wärmeenergieverbrauch von Gebäuden



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

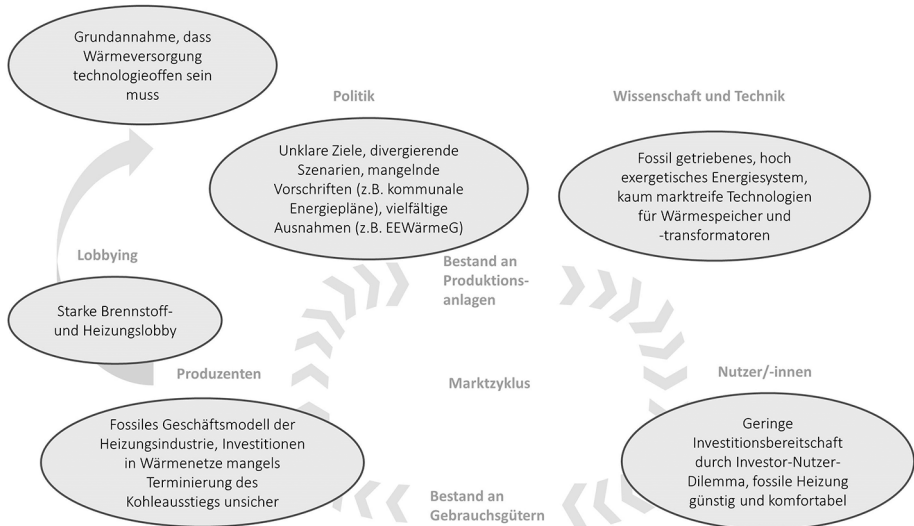
Gleichzeitig erfolgt mit der schrittweisen Dämmung von Fenstern, Wänden, Dächern und Kellerdecken des Gebäudebestands bei gleichzeitig steigenden Wär-

meschutzanforderungen schon ein langsamer Wandel. Strategien, um diesen zu beschleunigen, bestehen insbesondere in staatlichen Finanzausschüssen und einer verbesserten Beratung und Planung mit Hilfe von Sanierungsfahrplänen. Weiterreichende Verpflichtungen werden nicht diskutiert.

Wärmeversorgung von Gebäuden

Im Bereich der Wärmeversorgung stellt sich die Situation zum Teil ähnlich dar bzw. ist eng mit den die Sanierungspraxis bedingenden Pfadabhängigkeiten verknüpft. Auch hier sind die Nutzungszyklen eines Versorgungssystems lang und ein Wechsel aufwendig, was das bestehende System stabilisiert. Etwaige Investitionen in eine Heizungsanlage auf Basis erneuerbarer Energien sind ebenso wie die Nutzung eines (zusätzlich zu entwickelnden) Niedrigenergiewärmenetzes im Gebäudebestand meist nur in Kombination mit umfangreichen Dämmungsmaßnahmen und dem Wechsel von Heizkörpern sinnvoll. Nutzer/-innen und Besitzer/-innen sind ähnlich wenig sensibilisiert oder investitionsbereit. Rechtliche Vorgaben sind von Ausnahmen und Vollzugsdefiziten geprägt, die Heizungsindustrie ist auf fossile Energieträger fokussiert und tritt gemeinsam mit der Brennstofflobby für einen technologieoffenen, sprich: weniger von erneuerbaren Energien geprägten Wärmemarkt ein. Wärmespeicher und -transformatoren stellen einen technologischen Engpass dar. Zusätzlich ist im Fall von Wärmenetzen ein erhöhter, externer Koordinationsaufwand notwendig.

Abbildung 17: Lock-in in fossile Wärmeversorgung von Gebäuden



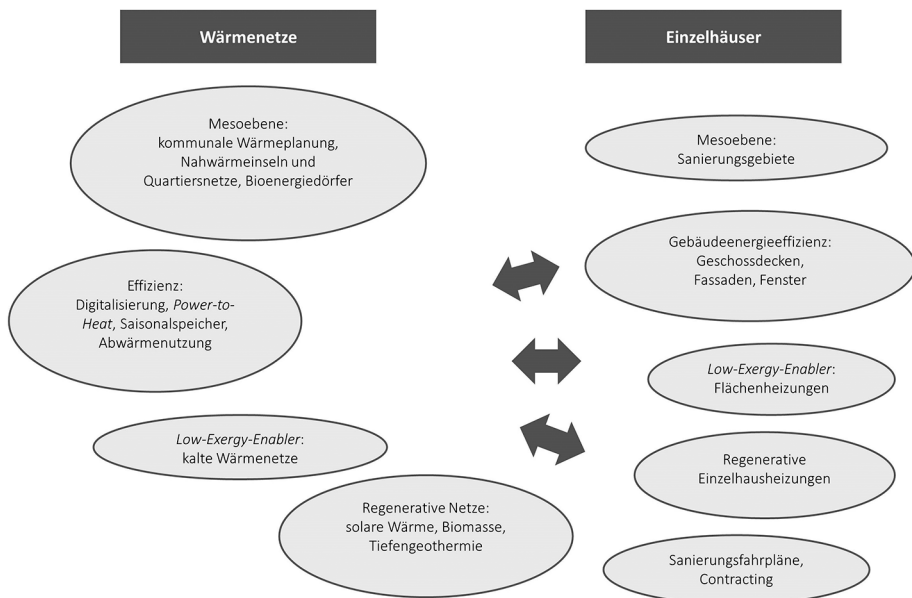
Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Alternativen zum bestehenden System der Wärmeversorgung finden sich in verschiedenen Technologien zur Wärmebereitstellung und Verteilung aus erneuerbaren Energien u. a. durch Solar- und Geothermie, kalte Netze, Wärmepumpen sowie Holz- und Pelletheizungen.

Hierarchie von gebäudeübergreifender Mesoebene und Einzelgebäuden

Beim Blick auf die Transformationsansätze im Themenbereich »Wärmeversorgung« fällt eine Hierarchie zwischen Ansätzen auf der gebäudeübergreifenden Mesoebene und Ansätzen auf der Ebene individueller Wärmenetze bzw. Gebäude auf. Weiter sind Unterschiede zwischen der Fortführung des High-Exergy-Pfades und des mit Blick auf die Begrenztheit fossiler Rohstoffe zukunftsweisenden Low-Exergy-Pfades von Bedeutung. Zudem charakterisieren sich die so zu bildenden Gruppen von Transformationsansätzen durch einige unterschiedliche, jeweils spezifische Pfadabhängigkeiten.

Abbildung 18: Netzwerkbeziehungen von Pfadabhängigkeiten



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Konsistenzbasierte Ansätze setzen zumeist eine Verknüpfung von Dämmmaßnahmen und dem Wechsel zu erneuerbaren Energien zur Wärmeproduktion voraus. Gerade solar- und geothermische Anlagen sowie kalte (*low exergy*) Nah- und Fernwärmenetze sind auf gute Wärmedämmung und die Installation von Flächenheizungen angewiesen. Während die Installation von biomassebasierten

Heizungen ohne grundlegende Änderungen an bestehenden Gebäuden und Wärmeverteilsystemen möglich ist, stehen deren limitierte Verfügbarkeit und Nutzungskonflikte einer flächendeckenden Ausbreitung entgegen. Effizienzbasierte Einzelansätze wie eine Erneuerung fossiler Heizungsanlagen oder die Dämmung einzelner Gebäudeelemente sind wesentlich weiter verbreitet, führen im Resultat jedoch nicht unbedingt zu einer Erreichung bestehender Ziele im Wärmesektor.

Auf einer Mesoebene lassen sich im Bereich der Wärmenetze die Transformationsansätze der kommunalen Wärmeplanung, der Nahwärmeinseln und der Quartiersnetze sowie auf dem Land auch der Bioenergiedörfer identifizieren. Diese Ansätze umfassen neben ggf. technischen Maßnahmen zusätzlich bzw. vornehmlich auch organisatorische Konzepte und stecken einen Rahmen ab, in dem dann konkrete technische Projekte umgesetzt werden können.

Mit Fokus auf Wärmenetze lassen sich darüber hinaus drei Gruppen von technischen Ansätzen identifizieren:

- Effizienzorientierte Ansätze, mit denen sowohl konventionelle (fossile) Wärmenetze effizienter gemacht werden können, aber auch die Voraussetzungen für Low-Exergy-Netze (regenerativ) verbessert werden
- Die kalten Wärmenetze, mit denen insbesondere die Möglichkeit der Nutzung von Low-Exergy- Energiequellen wie solarer Wärme mit Saisonalspeicher, aber auch Abwärme verbessert werden
- Regenerative Wärmequellen zur Versorgung von Wärmenetzen, etwa große Solarthermiefelder, geothermische Wärme und Biomassekraftwerke

In Bezug auf Einzelhäuser existiert eine Mesoebene dann, wenn z. B. die Kommune Sanierungsgebiete festlegt und in diesen bestimmte organisatorische oder finanzielle Hilfen für die wärmetechnische Sanierung durch die Gebäudeeigentümer bereitstellt. Auch mit Fokus auf Gebäude lassen sich verschiedene Maßnahmentypen identifizieren:

- Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs wie die Verbesserung der Wärmedämmung an Wänden, Fenstern und Türen sowie Geschossdecken und Dächern
- Der Einbau von Flächenheizungen, die niedrigere Vorlauftemperaturen zulassen und so die Möglichkeit der Nutzung von Low-Exergy-Energiequellen wie solarer Wärme oder Wärme aus kalten Wärmenetzen verbessern
- Der Einbau von Heizungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien wie Solarwärme, Wärmepumpen oder Biomasse
- Planerische Konzepte (Sanierungsfahrpläne) und ökonomische Ansätze wie Contracting, die die Realisierungschancen technischer Maßnahmen verbessern

Zwischen der Realisierung von Maßnahmen auf der Einzelgebäudeseite und bei den Wärmenetzen bestehen Wechselwirkungen:

- Fortschreitende Wärmedämmung im Bestand senkt die Wärmeabnahme und wirkt sich so auf den Betrieb von Wärmenetzen aus. Hier können bei gleichbleibender Wärmelieferung zusätzliche Gebäude angeschlossen werden, um den Wärmeabsatz sicherzustellen. Die zusätzlichen Ausbaukosten der Netze wirken sich genau wie der sinkende Absatz negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Netze aus.
- Die effizienzsteigernde Optimierung von Wärmenetzen durch Methoden der Digitalisierung stößt dort an Grenzen, wo das Wärmenetz über keine gebäude- und nutzerindividuellen Daten verfügt. Das *smart building* wird so zur Voraussetzung für ein intelligentes Netz.
- Die Existenz oder der Neubau von Netzen können planerisch durch die Kommune anhand eines Fernwärmevorranggebiets gefördert bzw. festgeschrieben werden. In solchen Fällen unterliegt die Veränderung von Heizungsanlagen in Einzelgebäuden Einschränkungen.

4.1.2.3.1 Pfadabhängigkeiten und Transformationsansätze

Eine Reihe von Pfadabhängigkeiten, welche den etablierten High-Exergy-Pfad stabilisieren, wirken sich übergreifend auf alle Transformationsansätze aus.

- Übergreifend wirken zunächst rechtliche Pfadabhängigkeiten; sie behindern so die Umsetzung fast aller Transformationsansätze. Rechtliche Instrumente im Wärmekontext sind häufig sehr komplex (z. B. Sanierungsvorschriften) oder von Ausnahmen durchzogen (z. B. Lücken in der Förderpolitik von Wärmenetzen, Lücken im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz [EEWärmeG], »Oma-Regelung«). Rechtliche Vorschriften unterliegen zudem z. T. einem mangelnden Vollzug (z. B. Sanierungsvorschriften).
- Eine wichtige ökonomische Pfadabhängigkeit ist der Wert der bereits gebauten Infrastruktur (etwa die Gasnetze) und der Wert des derzeitigen Gebäudebestandes. Die hohen Pfadwechselkosten, die mit fast allen Transformationsansätzen rund um die Wärme verbunden sind, wirken sich übergreifend aus.
- Über alle Transformationsansätze hinweg wirken sich auch die niedrigen Kosten fossiler Energieträger aus, die indirekt auch Einfluss auf die Politik haben. Der politische Anspruch einer preiswerten Grundversorgung für die Bevölkerung hemmt den Willen und die Möglichkeit der Politik dafür zu sorgen, dass die Energiepreise die »ökologische Wahrheit sagen«. Viele Eigentümer/-innen bzw. Mieter/-innen schlecht sanierter Häuser und Wohnungen sind aufgrund der niedrigen Energiepreise und daher niedrigen Heizkosten mit dem gegenwärtigen Status zufrieden und spüren keinen Handlungsdruck.

- Eine weitere generell wirksame Pfadabhängigkeit besteht in den wirkmächtigen Akteurinnen und Akteuren, welche ein Interesse an der Beibehaltung des derzeitigen Pfades haben und sich in verschiedenen Lobbyverbänden einsetzen. Dabei handelt es sich um die Betreiber fossiler Kraftwerke, die Wärmenetze speisen, und auch um die thermotechnische Industrie mit ihrem Verband, dem Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH).

Eine Reihe von Pfadabhängigkeiten wirkt sich aber auch fokussiert auf einzelne Transaktionsansätze aus. Am auffälligsten ist hier, dass besonders die Transformationsansätze auf der Mesoebene der Wärmenetze durch Pfadabhängigkeiten stark behindert werden.

- Als technische Pfadabhängigkeit wirkt sich hier zunächst der Zustand aus, dass es zwar umfangreiche Gasnetze (50 Prozent Anschlussgrad der Haushalte), aber nur wenig Wärmenetze (13 Prozent Anschlussgrad der Haushalte) gibt.
- Der Grundsatz der Technologieneutralität und auch die Angst, in Freiheitsrechte (Wahl der eigenen Heizung) einzugreifen, hemmen die kommunale Wärmeplanung und die Ausweisung von Fernwärmeverranggebieten.
- Die Geschäftsmodelle der etablierten Wärmeversorger lassen sich nur begrenzt auf kleine Quartiersnetze übertragen und es herrscht ein deutlicher Mangel an Akteurinnen und Akteuren, die Wärmenetze betreiben wollen und können. So findet sich z. B. selbst bei Existenz einer nutzbaren Abwärmequelle häufig kein/-e Akteur/-in, der bzw. die diese zu den Kundinnen und Kunden transportiert.
- Die Wirtschaftlichkeit fossiler Kraftwerke, der umstritten terminierte Kohleausstieg, aber auch Gewerkschaften wie die IGBCE und Verdi hemmen kommunale Planungsansätze ebenfalls, wenn diese etablierte Strukturen in Frage stellen. Zudem befinden sich viele Kommunen in einem Dilemma, da die Anteile an ihren Stadtwerken für sie eine wichtige finanzielle Stütze bilden.

Zu einer zögerlichen Umsetzung führt auch, dass kalte Wärmenetze als Schlüsseltechnologie einer Low-Exergy-Wärmeversorgung noch nicht ausgereift sind. Hier wirken sich vornehmlich technische Pfadabhängigkeiten aus:

- Komponenten wie der Saisonspeicher und der Wärmetransformator (eine wärmegetriebene Wärmepumpe) sind wenig erprobt und es finden sich national kaum Hersteller mit Erfahrung.
- Die Legionellenprophylaxe erfordert hohen Aufwand.
- Es mangelt an Demonstrationsprojekten.

Bezogen auf gebäudeindividuelle Sanierungsmaßnahmen ist zum einen die Besitzstruktur der Wohngebäude und Wohnungen problematisch. Ca. 54 Prozent der Wohnungen werden vermietet. Damit verbunden ist das Investor-Nutzer-Dilemma bei Sanierungsmaßnahmen. Und Einzeleigentümerinnen und -eigentümer von Wohnraum stellen ebenfalls ein Hemmnis dar, da sie sich z. B. als Besitzer von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, aber auch von einem einzelnen Reihnhaus auf Sanierungskonzepte einigen müssen, was häufig nicht gelingt. Auch Unkenntnis, Mythen und Angst vor Unbequemlichkeiten sind als Hemmnisse bei Sanierungsmaßnahmen wirksam.

Mit Fokus auf gebäudeindividuelle Maßnahmen ist auch die mangelnde Fachexpertise von Planerinnen und Planern sowie Handwerksunternehmen von Bedeutung.

Als materielles Hemmnis bei der Wahl der Heizungsanlage ist aus gesellschaftlicher Perspektive von Bedeutung, dass die Verfügbarkeit von Biomasse beschränkt ist. So bietet eine Biomasseheizung zwar für den Einzelnutzenden die Vorteile, dass das Wärmeverteilsystem mit Konvektorheizkörpern wie bei jeder anderen High-Exergy-Heizung genutzt werden kann, aus übergreifender Perspektive ist aber eben wichtig, dass der Anteil von Biomasseheizungen nicht beliebig gesteigert werden kann.

4.1.2.3.2 Fazit

Die Analyse der Pfadabhängigkeiten rund um die Wärmeversorgung lässt drei zentrale Pfadabhängigkeiten erkennen:

- Sowohl die vorhandenen, unsanierten Gebäude als auch die fehlenden Wärmenetzstrukturen erfordern hohe Pfadwechselkosten und dementsprechend eine lange Zeit für den Pfadwechsel.
- Die verteilten und manchmal komplexen Eigentumsstrukturen (Eigentümergemeinschaften) stellen im Kontext hoher Pfadwechselkosten eine besondere Herausforderung dar.
- Der rechtliche Rahmen führt zu niedrigen Preisen für fossile Energie und ist in Bezug auf die Vorschriften, die den Wandel fördern sollen, von Inkonsistenz und einem fast komplett fehlenden Vollzug geprägt. Die Anreizwirkung des Rechtsrahmens für den Pfadwechsel ist noch sehr begrenzt.

4.1.2.4 Rohstoffversorgung

Der Rohstoffverbrauch spiegelt die Entwicklung von Produktion und Konsum wider. Pfadabhängigkeiten, die einer Rohstoffwende entgegenstehen, sind damit grundsätzlich tief eingebettet in die Entwicklung der Industriegesellschaft und deren strukturellen Wandel, der mit den Begriffen Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft gekennzeichnet werden kann. Globalisierungsprozesse im

Sinne von grenzüberschreitender Produktion und Handel und weltweit sich verzweigenden Wertschöpfungsketten prägen die Pfadabhängigkeiten mit Blick auf die Rohstoffversorgung. Historisch betrachtet vollzog sich im Zuge der industriellen Revolution ein Wandel vom Verbrauch nachwachsender Rohstoffe hin zur Nutzung von Erdöl und Kohle (Exner 2016). Im Jahr 1859 wurde die erste Erdölraffinerie errichtet. In den Folgejahren wurden mehr Raffinerien gebaut, die Preise für Erdöl sanken. Petroleum und andere Öle fanden unter anderem als Leuchtmittel Verwendung. Während Erdöl nach der Erfindung des elektrischen Lichts zwischenzeitlich an Attraktivität verlor, gewann es bald wieder als Fahrzeugtreibstoff (Benzin) an Bedeutung. Zudem bildete Erdöl die Basis für die industrielle Kunststoffproduktion und die Herstellung anderer Produkte der Chemieindustrie. Zugleich stiegen der Bedarf und die Produktion von Stahl und Eisen (z. B. für Schiffe, Eisenbahnen, Gebäude, Maschinen). Während für vorindustrielle Zeiten um das Jahr 1700 von einer Produktion von etwa 300.000 Tonnen ausgegangen wird, lag diese im Jahr 1850 bereits bei etwa 12 Millionen Tonnen. Im Jahr 1980 betrug das Volumen ca. 1,2 Milliarden Tonnen, und bis zum Jahr 2005 kam es zu einem weiteren Anstieg auf über 1,9 Milliarden Tonnen (Exner 2016; Ökosystem Erde 2017).

Im Zuge dieser Entwicklungen haben sich seit der Industrialisierung koevolutiv in wechselseitiger Beeinflussung (teilweise inkrementell, teilweise schubartig) Pfadabhängigkeiten herausgebildet. In den vier Transformationsfeldstudien (Behrendt 2017a, 2017b, 2017c; Odenbach et al. 2017) wurden 48 Pfadabhängigkeiten gefunden.

Tabelle 7: Anzahl an Pfadabhängigkeiten in der Rohstoffversorgung nach Stärke und Art

Stärke der Pfadabhängigkeit	Art der Pfadabhängigkeit					Summe
	Rechtlich	Ökonomisch	Technisch	Organisational	Nutzerbezogen	
stark	6	7	13	5	5	36
mittel und schwach	3	2	4	1	2	12
Summe	9	9	17	6	7	48

Quelle: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit

Es dominieren deutlich technologische Pfadabhängigkeiten, gefolgt von rechtlichen und ökonomischen. Auch was die Stärke betrifft, überwiegen technologische Pfadabhängigkeiten, was darauf hinweist, dass es sich um vielstufige und vielfach verzweigte Prozessketten und Infrastrukturen handelt, die sich nur schwer transformieren lassen.

Jenseits dieser allgemeinen Betrachtung ist festzustellen, dass der Lock-in jeweils spezifisch für Rohstoffe und die damit verbundenen Rohstoffregimes ist, die sich herausgebildet haben. Öl ist nicht gleich Kupfer. Die Rohstoffregimes und

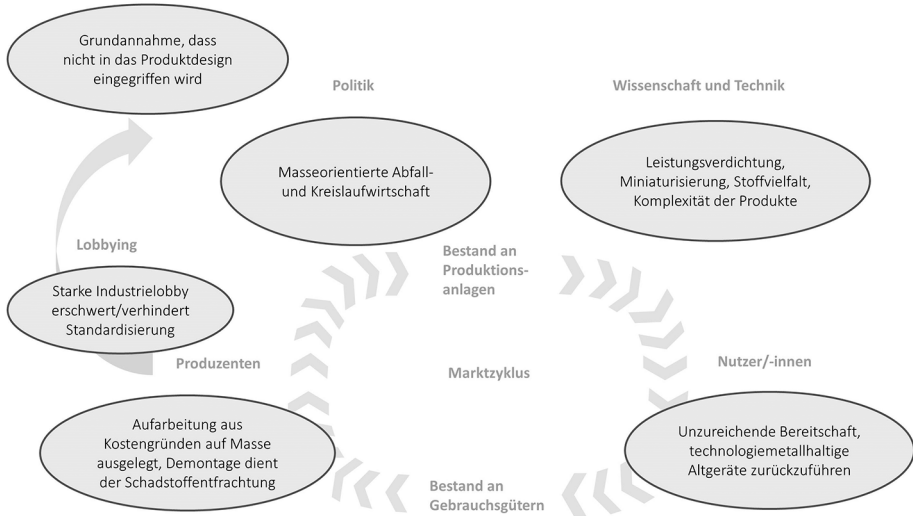
die sich in ihnen konstituierenden Pfadabhängigkeiten sowie die damit verbundenen Möglichkeiten für einen Pfadwechsel unterscheiden sich stark.

Massebasiertes Recycling

Der Lock-in in ein Recyclingsystem, das wesentlich auf Masseströme ausgerichtet ist, ist auf ein Zusammenspiel verschiedener Faktoren zurückzuführen. Seit Mitte des letzten Jahrhunderts wurde zunächst eine geordnete, nachgeschaltete Abfallwirtschaft aufgebaut, die sich sukzessive zu einer verzweigten Entsorgungs- und Verwertungswirtschaft entwickelte. Stoffliche und thermische Verwertung dienten zunächst vor allem der unmittelbaren Gefahrenabwehr und der Reduktion der Restabfallmengen angesichts befürchteter Entsorgungsnotstände. Das Abfallwirtschaftsgesetz (1980er-Jahre) markiert mit dem Konzept der Kreislaufwirtschaft den Übergang zum integrierten Umwelt- und Ressourcenschutz, blieb aber bis heute im Wesentlichen massebasiert. Unter den Technologiemetallen wurde lediglich das Recycling von Edelmetallen und einigen Sondermetallen forciert. Bei den meisten anderen Technologiemetallen fehlten die Preisanreize für ein Recycling. Hinzu kamen die geringen Materialmengen für eine Verwertung. Erst in den letzten Jahren sind viele der Technologien für ein Recycling mengenrelevant geworden oder werden dies in Zukunft sein (z. B. Photovoltaik, Li-Ionen-Batterien).

Nicht zuletzt spielt die fehlende Bereitschaft der Wirtschaft, in eine Sammel- und Aufarbeitungslogistik und Recyclingverfahren zu investieren, eine Rolle. Dies hat sich auch durch den zeitweisen Rohstoffboom nicht wesentlich geändert. Insbesondere die seither hohen Preisvolatilitäten an den Primärrohstoffmärkten stellen ein Risiko für die Recyclingwirtschaft dar. Eine wesentliche Variable für Preisniveauprognozen sind staatliche Markteingriffe und oligopolartige Angebotssituationen (Erdmann et al. 2011). Beide Faktoren sprechen für volatile Preise, was Investitionen in Techniken und Anlagen zur Verwertung von Technologiemetallen erschwert. Hinzu kommt eine zunehmende dissipative Verwendung von Technologiemetallen in Endprodukten, die eine Erhöhung des Rückgewinnungsgrades erschwert. Weitere Pfadabhängigkeiten bestehen in den vorhandenen Sammel- und Logistik(infra)strukturen, die sich in Jahrzehnten entwickelt und etabliert haben. Die Aufbereitungsverfahren für Altprodukte und Schrotte sind heute noch weitestgehend auf Massenströme ausgelegt. Die Demontage dient in erster Linie der Schadstoffentfrachtung, nur in geringem Maße werden verwertbare Komponenten freigelegt. Begünstigt wird die Ausrichtung auf eine Verwertung der Massenströme durch die WEEE-Direktive bzw. durch nationale Gesetze zur Rücknahme von Altgeräten und Produkten wie das Elektro-Gesetz, die massebasierte Verwertungsquoten vorgeben.

Abbildung 19: Lock-in in ein massebasiertes Recycling



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

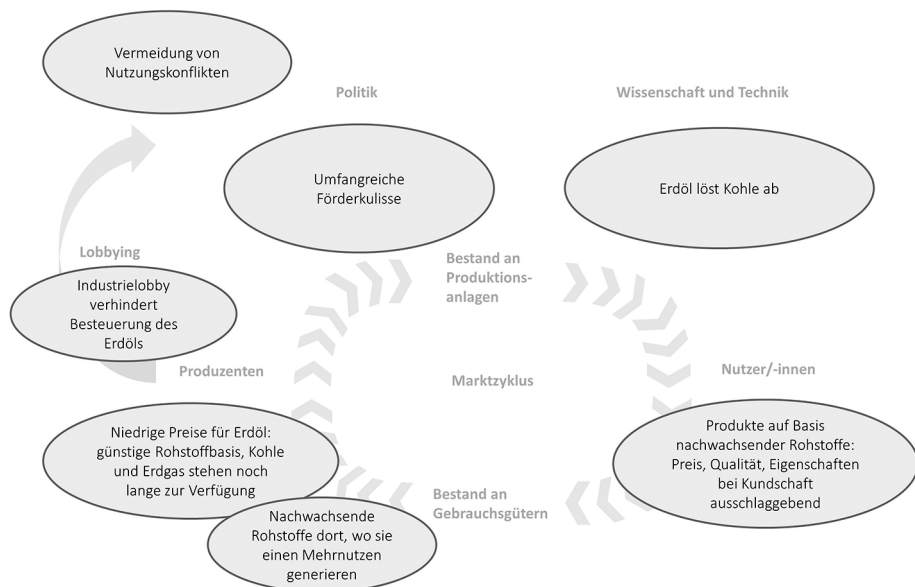
Die Transformation erfordert das Zusammenspiel dreier Ebenen: Erstens ist ein recyclinggerechtes Produktdesign erforderlich, zweitens ist eine Erfassung der Altprodukte zu gewährleisten und drittens ist eine angepasste Aufarbeitung der Produkte erforderlich, sodass möglichst wenig Technologiemetalle verloren gehen. Da Technologie- und Marktentwicklungen die Dissipation tendenziell erhöhen, sind rechtliche Rahmenbedingungen zu entwickeln, die Anreize für das Recycling von Technologiemetallen schaffen. Produktkennzeichnungen und Informationsmaßnahmen sind nicht ausreichend, vielmehr sind Mindestanforderungen an die Recyclingfähigkeit verpflichtend vorzuschreiben. Über massebasierten Quoten hinaus sollten zusätzlich für Technologiemetalle spezifische Verwertungsraten und -anforderungen definiert werden. Zwar wird die Berücksichtigung rohstofflicher Anforderungen generell als notwendig erachtet, erste Schritte zur Erweiterung der vor allem auf die Energieeffizienz ausgerichteten EU-Ökodesign-Richtlinie sind erfolgt (Progress II), werden aber tatsächlich bis dato nur sehr zögerlich aufgegriffen.

Erdölbasierte Chemieindustrie

Bei Erdöl, das heute die Rohstoffbasis der Chemieindustrie dominiert, ist der Lock-in ungefähr Mitte des 20. Jahrhunderts zu verorten. Erdöl hat seinerzeit die Kohle abgelöst, da es kostengünstig war und zudem neue Möglichkeiten zur Herstellung von Chemikalien bot. Die Chemieindustrie nutzt heute kostengünstige Stoffströme aus der erdölverarbeitenden Industrie, um daraus Basischemikalien

und Endprodukte herzustellen. Im Laufe von Jahrzehnten sind vielstufige und verzweigte Wertschöpfungsketten entstanden, in denen über komplexe und sehr unterschiedliche Prozesse mehr als 100.000 Produkte hergestellt werden. Aufgrund dieser Pfadabhängigkeit kann die Chemieindustrie die Herstellung von Basischemikalien nicht einfach umstellen. Sie würde einen wesentlichen Wettbewerbsvorteil aufgeben, nämlich die Verbundproduktion, das heißt aufeinander abgestimmte, hocheffiziente Produktionsverbünde, in denen der Stoff einer Produktionsanlage zum Grundstoff einer anderen wird.

Abbildung 20: Lock-in in eine erdölbasierte Chemieindustrie



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Im Fokus zum *feedstock change* der Chemieindustrie stehen Effizienzsteigerungen, die verstärkte Nutzung von Non-Food-Biomasse, die Optimierung der Verarbeitungsprozesse und die Entwicklung neuer Produkte (Behrendt 2017a). Für den Übergang zu nachwachsenden Rohstoffen sind neue Synthesestrategien und Herstellungsprozesse erforderlich, die es erlauben, chemische Produkte aus heterogener Biomasse herzustellen und in bestehende Prozesse kaskadenförmig zu integrieren. Eine Schlüsselrolle nimmt dabei die industrielle Biotechnologie ein. In Anbetracht der enormen wirtschaftlichen Stärken und hervorragenden Strukturen ist aber auf absehbare Zeit kein *feedstock change* wahrscheinlich; vielmehr ist zu erwarten, dass biologische Verfahren dort zum Einsatz kommen, wo die Produkte sich durch verbesserte Eigenschaften im Markt durchsetzen oder

wirtschaftlicher herzustellen sind als mit herkömmlichen chemischen Synthesen. Selbst langfristig ist bei steigenden Erdölpreisen nicht unbedingt mit einem Aufbrechen der Pfadabhängigkeiten zugunsten eines Wechsels hin zu nachwachsenden Rohstoffen zu rechnen. Einerseits stehen noch lange Kohle und Erdgas als alternative Rohstoffquellen für Erdöl zu Verfügung, andererseits ist davon auszugehen, dass Verfügbarkeit und Preis von nachwachsenden Rohstoffen aufgrund der Nutzungskonkurrenzen limitierende Faktoren für einen umfassenden *feed-stock change* der chemischen Industrie sein werden. Dies betrifft insbesondere die Knappheit des Angebots an Biomasse, das nur unter Inkaufnahme von ökologischen Nebeneffekten stark ausgeweitet werden kann, wie von (Behrendt 2017a) herausgearbeitet wurde.

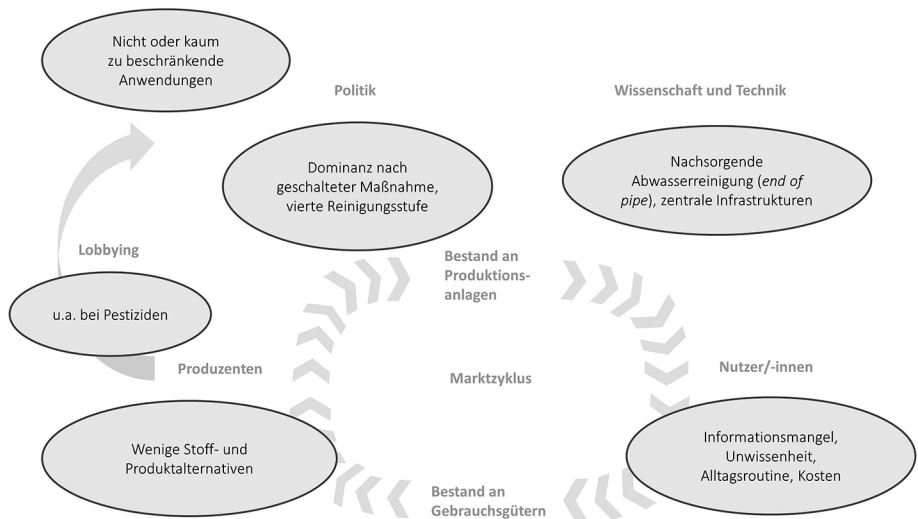
Nachsorgende Abwasserreinigung

Ergänzend wurden die Pfadabhängigkeiten bei synthetischen organischen Substanzen untersucht, die in Folge ihrer Freisetzung als sogenannte Mikroschadstoffe die Gewässer belasten (Behrendt 2017b). Es handelt sich um eine Vielzahl von Chemikalien und Arzneistoffen, auch Mikroplastik gehört dazu. Der Lock-in vollzog sich im Laufe des letzten Jahrhunderts als Reaktion auf zunehmende Umweltprobleme im Bereich der Gewässer. Im Lauf der Zeit wurde eine umfangreiche Infrastruktur aus Kanalisationen und Kläranlagen aufgebaut, die sich mit dem Stand der Technik entwickelt hat (mechanische, biologische und chemische Verfahren). Auf diese Weise konnte der Eintrag sauerstoffzehrender Substanzen und auch die Einträge der Nährstoffe aus dichter besiedelten Gebieten in Gewässer deutlich reduziert werden. Seit den 90er-Jahren werden zunehmend Belastungen durch Arzneimittel, Industriechemikalien und Pestizide festgestellt. Entsprechend der Grundlogik der nachsorgenden Abwasserreinigung wurden Techniken entwickelt, mit denen Kläranlagen um eine vierte Reinigungsstufe nachgerüstet werden können, um Mikroschadstoffe zu eliminieren. Sie werden großtechnisch bereits in verschiedenen Kläranlagen erprobt. Dabei zeigt sich, dass ein breites Spektrum an Mikroschadstoffen in hohem Umfang aus dem Abwasser entfernt werden kann, allerdings nicht vollständig.

Ein Pfadwechsel bedeutet, dass neben der Aufrüstung von Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe (*end of pipe*) den quellenorientierten Maßnahmen ein höheres Gewicht eingeräumt wird. Dazu gehören die Substitution von Stoffen, die Veränderung der Produkte, die Reduzierung der Anwendungen in Industrie, Gewerbe und Haushalten sowie ein verantwortungsvollerer Umgang beim Gebrauch und bei der Entsorgung von Produkten. Die Potenziale hierfür sind jeweils stoffspezifisch.

Quer zu den Fallstudien wurde die Digitalisierung und Automatisierung der Produktion untersucht (Odenbach et al. 2017). Unter dem Stichwort »Industrie 4.0« werden die Möglichkeiten einer stärkeren Verschmelzung von physischer und

Abbildung 21: Lock-in in eine nachsorgende Abwasserreinigung



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

virtueller Welt zusammengefasst. Die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, ad-hoc-vernetzte und umgebungssensitive Mikrosysteme können eine Effizienzsteigerung in Produktion, Logistik und Service bewirken. Am Ende der Kette sind Demontagefabriken denkbar, die automatisch Produkte zerlegen und damit händische Prozesse ablösen. Hinzu kommt, dass eine so weitgehende Vision der Durchdringung der Wertschöpfungsketten mit digitalen Komponenten, die immer und überall eingeschaltet und weitgehend drahtlos vernetzt sind, neue Produktionskonzepte möglich machen. Solche neuen Konzepte sind beispielsweise der 3D-Druck oder dezentrale Produktionsformen. Grundsätzlich sind Pfadwechsel vorstellbar. Allerdings sind die Effekte höchst ambivalent. Auffällig ist, dass der Idee einer »Industrie 4.0« ein hohes Energie- und Rohstoffeffizienzpotenzial attestiert wird, aber mit der Debatte um eine Green Economy kaum verknüpft, geschweige denn mit praktischen Projekten unterlegt ist.

4.1.2.4.1 Pfadabhängigkeiten und Transformationansätze

Die Transformationsansätze im Themenfeld Rohstoffe lassen sich anhand des Produktlebenszyklus kategorisieren. Eine Rolle spielen dabei die Auswahl der genutzten Rohstoffe und die Art und Weise der Weiterverarbeitung in der Produktion und Anwendung, aber auch die kontrollierte Entsorgung sowie ein anschließendes Recycling.

- **Rohstoffauswahl bzw. Produktgestaltung:** Ansätze der Transformation bilden im Themenfeld *feedstock change* die nachhaltige Erzeugung und Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe, im Bereich Metalle das Ökodesign unter dem Aspekt der leichten Demontage sowie in Bezug auf die Vermeidung von Mikroschadstoffen die Stoffsubstitutionen.
- **Produktion und Anwendung:** Die Transformationsansätze zielen zum einen auf die Verbesserung bestehender Produktionstechniken, zum anderen auf die Erschließung neuer ab: Sie umfassen die Steigerung der Ressourceneffizienz durch die Möglichkeiten der Industrie 4.0, die dezentrale Produktion, integrierte chemische Prozesse und neue Wertschöpfungsketten sowie die Optimierung bestehender und neuer Bioproduktionssysteme im Bereich *feedstock change*.
- **Entsorgung und Recycling:** Die gezielte Rückführung bzw. Sammlung von nicht mehr gebrauchten Produkten ist eine Vorbedingung des Recyclings. Im Bereich Mikroschadstoffe kann dies durch die geregelte Entsorgung schadstoffhaltiger Produkte geschehen, in der Industrie spricht man von Retro-Logistik. Recycling-Partnerschaften könnten der globalen Verantwortung Rechnung tragen. Am Ende des Produktionszyklus bilden Pre-Shredding-Verfahren, z. B. automatische Demontagefabriken (*smart disassembly factories*), Ansätze in Richtung einer Green Economy.

Das etablierte, nicht-nachhaltige System der Rohstoffwirtschaft wird von einigen stark wirkenden und zu einem großen Teil technischen Pfadabhängigkeiten stabilisiert. Im Themenfeld Rohstoffe sind nur wenig übergreifende und vergleichsweise viele auf die einzelnen Problemfelder wirkenden Pfadabhängigkeiten auszumachen. Eine übergreifend wirksame Pfadabhängigkeit stellt die Vorstellung dar, dass billige Rohstoffe für die Wirtschaft notwendig sind.

In Bezug auf **Rohstoffauswahl- und Produktgestaltung** zeigen sich folgende Pfadabhängigkeiten:

Ökodesign Technologiemetalle: Die dissipative Verwendung von Technologiemetallen an vielen Stellen im Produkt ist etabliert; Käuferinnen und Käufer legen wenig Wert auf die Umweltverträglichkeit als Produkteigenschaft.

Produktgestaltung Mikroschadstoffe: Das Vorhandensein heterogener Anwendungskontexte für eine Vielzahl von Stoffen sorgt für eine große Komplexität; Stoffsubstitutionen sind nur eingeschränkt möglich, zudem können diese mit hohen Kosten verbunden sein. Die Stoffregelungskompetenzen liegen bei der EU. Vorkonfektionierte Packungsgrößen bei Medikamenten sorgen von vornherein für Überschüsse.

Nutzung nachwachsender Rohstoffe für den *feedstock change*: Die Preise für Erdöl sind niedrig, während die Preisentwicklung für erneuerbare Rohstoffe volatil und schwer langfristig planbar ist, was auch auf die Konkurrenz mit anderen Nutzungsansprüchen zurückzuführen ist; auch das EEG sorgt für die Verteuerung von Biomasse. Weiter ist die Verfügbarkeit nachwachsender Rohstoffe begrenzt.

Zahlreiche Pfadabhängigkeiten hemmen auch die Veränderung der Rohstoffwirtschaft auf der Ebene der Produktion, allerdings recht selektiv.

Mit Blick auf die Idee der »Industrie 4.0« konnten z. B. keine spezifischen Pfadabhängigkeiten im Kontext der **Realisierung von Industrie 4.0 in etablierten Wertschöpfungsketten** ausgemacht werden.

Verknüpft sich der Gedanke von »Industrie 4.0« jedoch mit der Idee der »dezentralen Produktion« auf Basis von Open-Source-Know-how, hemmen zahlreiche Pfadabhängigkeiten die Entwicklung:

- Rechtlich sind viele Fragen der *industrial security* (z. B. des Datenschutzes) nicht geklärt. Auch der Anspruch auf den Schutz firmeninternen Know-hows steht Kooperationen auf Open-Source-Basis entgegen, denn Schutzrechte können in dezentralen Produktionsstrukturen auf Open-Source-Basis nicht wahrgenommen werden. Bei Kooperationen kleiner vernetzter ökonomischer Einheiten liegen für den letztendlichen Inverkehrbringer der Produkte spezifische Haftungs- und Gewährleistungspflichten vor. Auch hemmt der Mangel an offenen Standards ökonomisch nicht-integrierte Produktionsketten.
- Die Entwicklung dezentraler Produktionsstrukturen ist zudem kostenintensiv. Mit Blick auf die Unsicherheit des Produktabsatzes bleibt damit eine hohe Unsicherheit, wann Investitionen in eine dezentrale Produktion rentabel sind. Vorbedingung für eine dezentrale Produktion ist weiter ein flächendeckendes leistungsfähiges (Glasfaser-)Netz, welches in Deutschland gegenwärtig noch wesentliche Lücken hat.
- Sollten die Stückzahlen aus dezentraler Produktion steigen, dann ist aus der etablierten Produktion Widerstand zu erwarten. Denn hochentwickelte funktionale zentrale Produktionsstrukturen sind vorhanden und ein wachsender dezentraler Produktionssektor könnte zu Befürchtungen bzgl. eines Kompetenz- und Arbeitsplatzverlustes bei etablierten Anbietern führen.

Der *feedstock change* der chemischen Industrie erfordert **integrierte chemische Prozesse und die Optimierung bestehender Bioproduktionssysteme** und wird ebenfalls von Pfadabhängigkeiten deutlich behindert:

- Technisch machen vielfach verzweigte Wertschöpfungsketten sowie der Mangel an »rohstofftoleranten« Prozessen Probleme. Die Verknüpfung von Einzeltechnologien zu komplexen Biotechnologien steht noch aus und es bestehen hohe Mengenschwellen für sehr effiziente Anlagen. Auch sind Produkte von Bioraffinerien oft inkompatibel mit herkömmlichen chemischen Wertschöpfungsketten.
- Weitere Pfadabhängigkeiten bestehen in den Risiken einer weitgehend neuen Bio-Produkt- und Rohstoffstrategie, der begrenzten Verfügbarkeit von Biomasse, den oft noch unklaren ökologischen Vorteilen biobasierter Produkte sowie in der Tatsache, dass Kundinnen und Kunden biomassebasierte Produkte nicht unbedingt als Vorteil sehen.

Im Bereich **Entsorgung und Recycling** zeigt sich bezüglich der Retro-Logistik von Technologiemetallen die auf nationale Grenzen beschränkte Regulierungskompetenz als hemmend. An einer klaren Definition zwischen gebrauchter Ware und Schrott mangelt es, sodass Exporte von Altprodukten oft in einem rechtlichen Graubereich stattfinden. Die getrennte Erfassung und Sammlung von Produkten mit Technologiemetallen funktioniert kaum.

Die Rückgewinnung von Technologiemetallen durch Demontage und Recycling wird gehemmt durch technische Pfadabhängigkeiten, da z. B. die Zugabe von »Gewürzmetallen« die Stoffvielfalt erhöht und die dominierende Shredder-Technologie die vielen unterschiedlichen Materialien nicht separieren kann. Metallkombinationen in der Produktion passen manchmal nicht zu etablierten Scheideverfahren. Mengenquoten setzen falsche Anreize im Recycling, und Anreize für (hohe) Investitionen in Recyclinganlagen sind durch niedrige und volatile Rohstoffpreise und aufgrund unklarer Anlagenrentabilität kaum gegeben.

Für Mikroschadstoffe sind Kläranlagen zentrale Orte der Sammlung und Eliminierung. Aufgrund dieser zentralen und kontrollierten Reinigung von Abwässern bietet sich eine zusätzliche vierte oder fünfte Reinigungsstufe an. Aber die Forschung zu Abwasserreinigungstechnologien ist weiter als die Anwendung, hier gilt es eine Lücke zu schließen. Rechtliche Vorschriften fordern zwar Gewässerqualität, sind jedoch oft maßnahmenoffen. Auch die Wasserrahmenrichtlinie begrenzt die Einleitung von lediglich 45 prioritären Stoffen.

4.1.2.4.2 Fazit

Die Analyse der Pfadabhängigkeiten rund um die Rohstoffversorgung zeigt eine starke Fragmentierung der Rohstoffwirtschaft mit ihren zahlreichen Materialien und Produkten als zentrales Problem:

- Die Zahl der in Produkten eingesetzten Elemente hat sich in den letzten Jahrzehnten stark erhöht. Das Recyclingsystem ist aber immer noch auf Mengen-

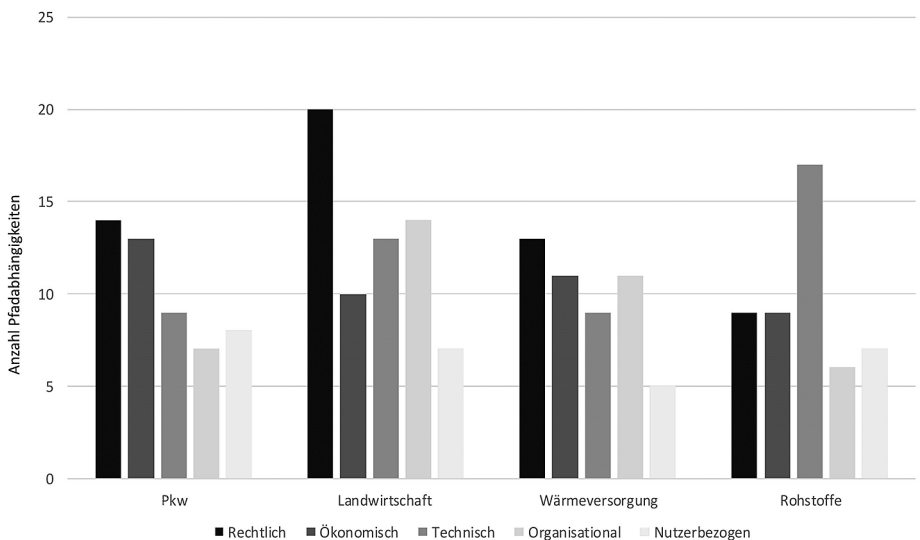
rohstoffe wie Stahl, Papier und Glas ausgerichtet. Die vorhandene Technologie (z. B. Shredderanlagen) stabilisiert die Ausrichtung auf Massenrohstoffe.

- Das Recycling von Kleinmengenrohstoffen wie Technologiemetallen wird dadurch erschwert, dass diese verteilt in sehr vielen Produkten eingesetzt werden. Ökodesign, welches versucht, die Stoffvielfalt zu reduzieren und bestimmte Stoffe so einzusetzen, dass sie einfach demontierbar sind (z. B. durch das Clustern von Elektronikkomponenten), ist mit Blick auf die Produktvielfalt und deren weltweite Herkunft nur schwer umzusetzen.
- Der chemischen Industrie stehen die für einen *feedstock change* erforderlichen Mengen nachwachsender Rohstoffe nicht zur Verfügung, da diese im Lebensmittel- und Energiesektor eingesetzt werden.

4.1.3 Pfadabhängigkeiten: Typen und Zusammenhänge

In diesem Kapitel werden die in der Vorstudie (Clausen und Fichter 2016) systematisierten sowie die in den Transformationsfeldstudien identifizierten Pfadabhängigkeiten im Überblick betrachtet. Es werden nach einem kurzen Überblick über Zahl und Stärke der gefundenen Pfadabhängigkeiten zunächst in einer Detailanalyse die bereits aufgestellte Typologie von Pfadabhängigkeiten auf empirischer Basis weiter verfeinert und danach die Netzwerkbeziehungen von Pfadabhängigkeiten analysiert.

Abbildung 22: Anzahl und Typ von Pfadabhängigkeiten in den vier Wendethemen

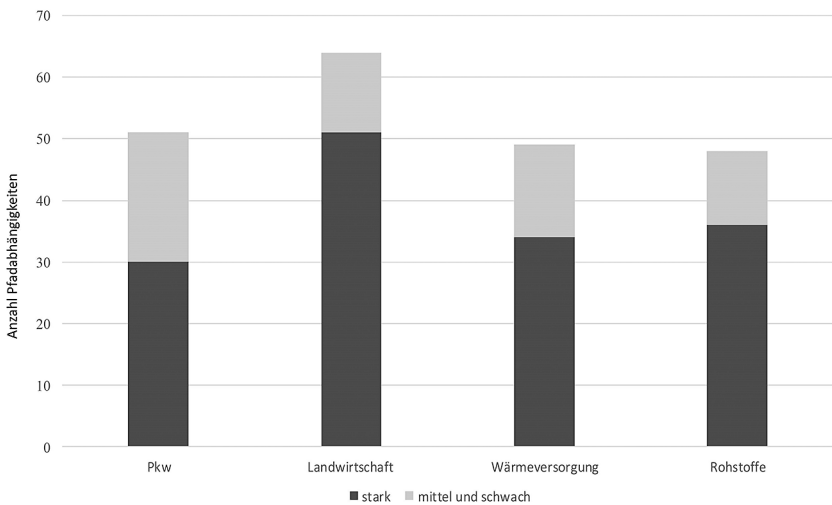


Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Der Überblick über die Typen von Pfadabhängigkeiten in den vier Wendethemen lässt erkennen, dass in der Landwirtschaft rechtliche Pfadabhängigkeiten in großer Zahl vorhanden sind und auch technische und organisationale das Regime stabilisieren. In der Rohstoffwirtschaft dagegen wurden besonders viele technische Pfadabhängigkeiten identifiziert. Die Verteilung der Pfadabhängigkeiten rund um die Pkw-Nutzung und in der Wärmeversorgung dagegen lässt auf einen technisch-ökonomischen Komplex schließen, der rechtlich gut abgesichert ist.

Von den insgesamt 212 identifizierten Pfadabhängigkeiten wurden 61 (29 Prozent) als »schwach oder mittelstark« ausgeprägt, 151 (71 Prozent) als »starke« Pfadabhängigkeiten charakterisiert. Die Verteilung starker und schwacher Pfadabhängigkeiten über die Wendethemen ist weitgehend ausgeglichen.

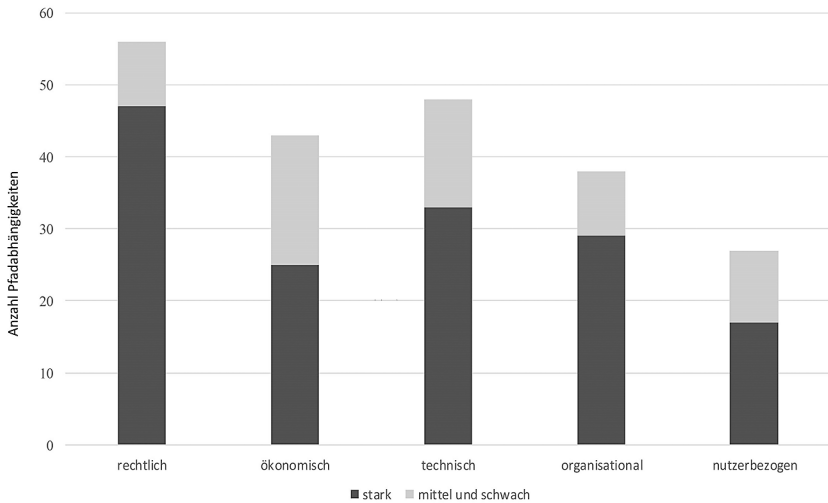
Abbildung 23: Anzahl an starken sowie mittleren und schwachen Pfadabhängigkeiten in den vier Wendethemen



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Bei der Verteilung starker und schwacher Pfadabhängigkeiten anhand der Typologie fällt auf, dass besonders bei den ökonomischen und technischen Pfadabhängigkeiten ein vergleichsweise hoher Anteil als »nicht so stark« eingestuft wurde.

Abbildung 24: Anzahl an starken sowie mittleren und schwachen Pfadabhängigkeiten nach Typ



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

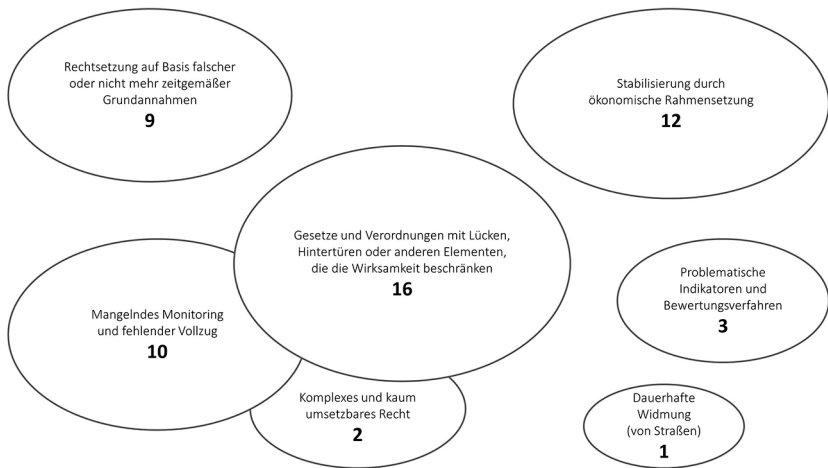
4.1.3.1 Typen von Pfadabhängigkeiten

In diesem Abschnitt werden die Pfadabhängigkeiten vor dem Hintergrund der empirischen Erhebung typisiert und dabei das in der Vorstudie aufgestellte System von fünf Typen (Clausen und Fichter 2016) weiter detailliert.

4.1.3.1.1 Rechtliche Pfadabhängigkeiten

Die Analyse der 15 Transformationsfelder förderte Hinweise auf 56 rechtliche Pfadabhängigkeiten zutage. Der Fokus der Analyse lag dabei auf Pfadabhängigkeiten, die einerseits das vorherrschende System stabilisieren und dabei andererseits die Transformation des Systems verhindern. Im Ergebnis lassen die im Feld »rechtliche Pfadabhängigkeiten« gefundenen Strukturen auf sehr erfolgreiche Tätigkeiten von Lobbyisten im politischen Prozess schließen.

Abbildung 25: Überblick über Typen rechtlicher Pfadabhängigkeiten und Anzahl der jeweils gefundenen Beispiele



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Die Basis der rechtlichen Pfadabhängigkeiten bilden falsche oder – angesichts der ökologischen Herausforderung – nicht mehr zeitgemäße Grundannahmen, auf deren Grundlage Recht entsteht. Gefunden wurde hierfür eine Reihe von Beispielen:

- Das Primat des Freihandels über das Umweltrecht, welches gerade im internationalen Warenverkehr der Durchsetzung ökologischer Ziele Grenzen setzt
- Die grundlegende Ausnahme der Landwirtschaft aus dem Umweltrecht, die der Sicherstellung der Lebensmittelproduktion dienen soll und dabei doch langfristig zur Zerstörung der Grundlagen ebendieser Lebensmittelproduktion führt
- Der Grundsatz der Technologieneutralität, der die Förderung konkreter Technologien erschwert oder weniger wirksam macht

Im Zentrum des gegenwärtig an viel zu vielen Stellen wenig wirksamen Umweltrechts fanden wir Gesetze und Verordnungen mit Lücken, Hintertüren oder anderen Elementen, die ihre Wirksamkeit beschränken. Oft ist auch ein fehlendes Monitoring oder ein unzureichender Vollzug Hauptgrund der Unwirksamkeit. Beispielhaft sind aufzuführen:

- Maßnahmenoffene Vorschriften
- Fehlende Zielklarheit der Vorschriften
- Eingebaute Hintertüren wie beim EEWärmeG, welches im Ergebnis überwiegend zu effizienzsteigernden Maßnahmen führt

- Vorschriften, die aufgrund ihrer Komplexität kaum umsetzbar und noch weniger vollziehbar sind, z. B. im Baurecht, aber außerhalb unserer Untersuchungen letztlich auch im Emissionshandel
- Fehlende Vorschriften zum Monitoring
- Fehlende Vorschriften oder Mittel zur Organisation eines wirksamen Vollzugs

Ein weiteres wesentliches rechtliches Instrument zur Verhinderung von Wandel besteht im Steuer- und Abgaberecht, das auf verschiedene Weise zur Stabilisierung des Systems beitragen kann:

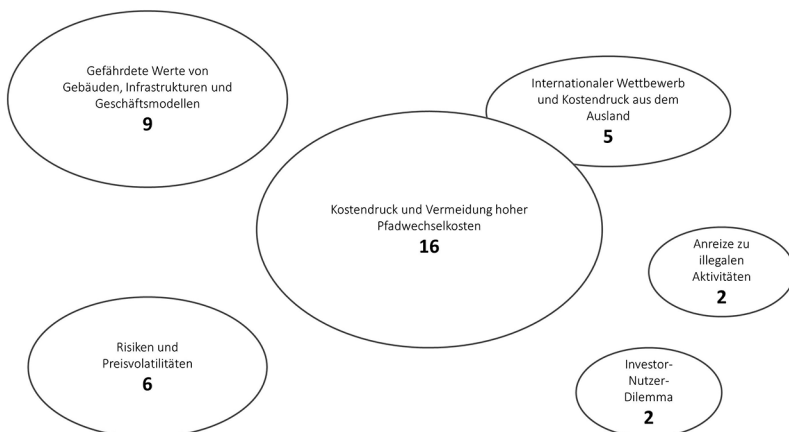
- Niedrige Steuern auf fossile Energieträger und auf Rohstoffe,
- Ein Förderrahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik, der den industriellen und umweltbelastenden Landbau bevorzugt und ökologische Ziele nicht wirksam verfolgt.

Abgerundet wird das Bild eines zur Transformation weitgehend ungeeigneten Rechtsrahmens durch eine Reihe von Vorschriften, mit denen zur Messung des Erfolgs ungeeignete Indikatoren vorgeschrieben werden. So setzen die Mengenquoten im Recycling keine Anreize zur Kreislaufführung von nur in kleinen Mengen enthaltenen Technologiemetallen. Andere Vorschriften fehlen ganz, z. B. eine Verpflichtung der Kommunen, kommunale Wärmeversorgungspläne zu erstellen.

4.1.3.1.2 Ökonomische Pfadabhängigkeiten

In 15 Transformationsfeldern fanden wir 43 ökonomische Pfadabhängigkeiten.

Abbildung 26: Überblick über Typen ökonomischer Pfadabhängigkeiten und Anzahl der jeweils gefundenen Beispiele



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Im Zentrum der ökonomischen Pfadabhängigkeiten steht der Kostendruck. Gefunden wurde hierfür eine Reihe von Beispielen:

- Die (noch) bestehende faktische Unmöglichkeit, in der Anschaffung teurere regenerative Heizungstechnologien wie Wärmepumpen in einem Markt abzusetzen, der durch billige Gasthermen und billiges Gas dominiert wird
- Die gleichermaßen faktische Unmöglichkeit, die heute noch teureren Elektroautos in Ländern abzusetzen, in denen der Preisunterschied nicht über Förderungen oder steuerliche Vorteile ausgeglichen wird
- Die in der Landwirtschaft aufgrund des Kostendrucks etablierte Spirale aus preiswerter und umweltbelastender Produktion, die den Anspruch auf preiswerte Lebensmittel immer neu entstehen lässt
- Ähnliche Effekte aufgrund der internationalen Wettbewerbssituation

Wesentlich sind auch die Werte, die Industrie und Konsumenten in existierende Artefakte sowie Strukturen gesteckt haben und deren Wert sie langfristig nutzen wollen. Hierzu gehören:

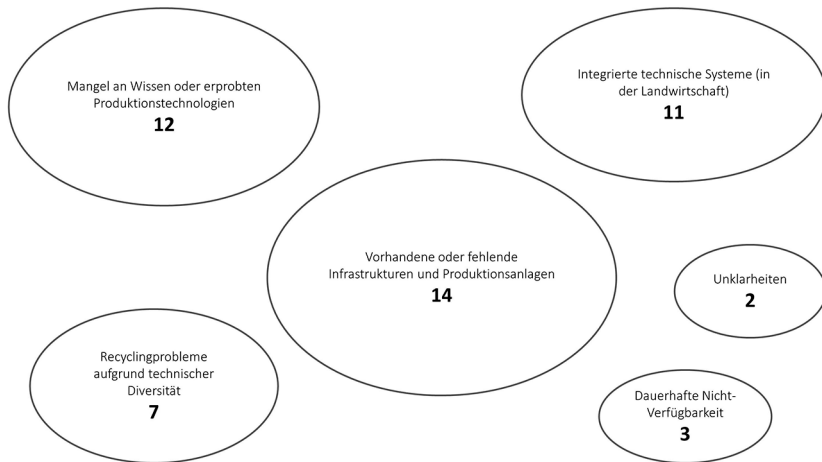
- Das Eigentum der öffentlichen Hand (Straßen, Infrastrukturen) wie auch der privaten Haushalte (Häuser, Autos und Geräte) und der Industrie (Produktionsanlage und Geschäftsmodelle)
- Der Wert von etablierten Geschäftsmodellen der Unternehmen
- Der Wert von Anlageinvestitionen, z. B. kommunale Beteiligungen an fossil ausgerichteten Energieversorgern, der direkt in die politische Entscheidungsfindung zurückwirkt

Unsicherheiten und Preisvolatilitäten schaffen weitere Pfadabhängigkeiten, besonders in den Rohstoffmärkten, aber auch z. B. hinsichtlich des (wann?) kommenden Kohleausstiegs. Weiter werden bestimmte Strukturen dadurch stabilisiert, dass sie mit illegalen Wettbewerbern mithalten müssen, z. B. im Pestizidhandel und im Recycling von Elektronikkomponenten. Das Investor-Nutzer-Dilemma schließt die Aufzählung ökonomischer Pfadabhängigkeiten ab.

4.1.3.1.3 Technische Pfadabhängigkeiten

Die Analyse ergab Hinweise auf 48 technische Pfadabhängigkeiten in den 15 Transformationsfeldern.

Abbildung 27: Überblick über Typen technischer Pfadabhängigkeiten und Anzahl der jeweils gefundenen Beispiele



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Fundamental sind dabei die bisher wenigen technischen Unmöglichkeiten aufgrund der dauerhaften Nicht-Verfügbarkeit von Ressourcen. An zwei Stellen konnten wir entsprechende Pfadabhängigkeiten identifizieren:

- Die Unmöglichkeit, auf einer begrenzten landwirtschaftlichen Fläche Rohstoffe für die (fast unbegrenzten) Bedarfe der Lebensmittelwirtschaft, der Energiewirtschaft (nachwachsende Rohstoffe) und der chemischen Industrie (*feedstock change*) zu produzieren
- Die Unmöglichkeit der Nutzung von alten und standortangepassten landwirtschaftlichen Pflanzensorten und Tierrassen, wenn diese ausgestorben sind

Im Zentrum der technischen Pfadabhängigkeiten steht die normative Kraft der faktisch vorhandenen oder fehlenden Infrastrukturen und Produktionsanlagen. Beispiele sind hier:

- Die Siedlungs-, Produktions- und Versorgungsstrukturen mit ihren langen Wegen
- Die Straßen-, Schienen- und Wasserwege mit ihren Kapazitätsgrenzen

- Die teils gut (Gasnetze), teils schlecht (Wärmenetze) ausgebauten Energieversorgungsstrukturen
- Die im internationalen Vergleich insgesamt und besonders in ländlichen Regionen schlechten digitalen Infrastrukturen
- Dominierende Industriestrukturen wie z. B. das Recyclingsystem mit seinen Großshreddern

Besonders in der Landwirtschaft sind integrierte technische Systeme von Bedeutung. Pflanzensorten sind in Kombination mit bestimmten Anforderungen an die Düngung und den Pflanzenschutz gezüchtet oder gentechnisch optimiert worden und können wirtschaftlich nur als »Gesamtsystem« genutzt werden.

Weiter wurden einige Fälle mangelnder technischer Kompetenz bzw. fehlender erprobter Produktionstechnologien identifiziert:

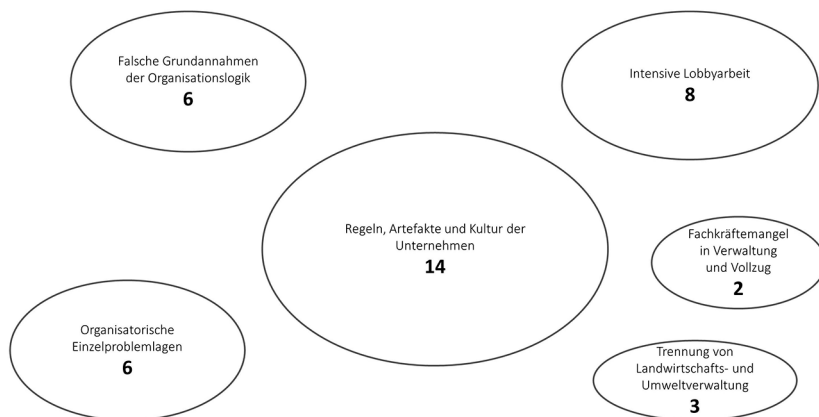
- In der Elektromobilität fehlt es an Wissen und Erfahrung mit diversen Technologien des elektrischen Antriebsstrangs. Auch fehlen in Deutschland wettbewerbsfähige Produktionstechnologien für Zellen und Batterien.
- In der Energiewirtschaft sind die Technologien zur Energiespeicherung nicht weit genug entwickelt, und auch Low-Exergy-Technologien wie der Wärmetransformator sind nicht serienreif. Technologien der Wärmeverteilung sind häufig nicht mit Low-Exergy-Energiequellen kompatibel.
- In der Rohstoffwirtschaft fehlen komplexe Bioraffinerien, deren Produkte kompatibel mit herkömmlichen Wertschöpfungsketten sind, sowie Nachfolge-technologien für die zu grob sortierenden Shredderanlagen.
- In der Landwirtschaft fehlt es an Methoden zur sicheren Bestimmung des Nährstoffgehalts von Wirtschaftsdünger und einem Konzept zur überregionalen Verteilung und gezielten Substitution von Kunstdünger.
- In der Recyclingwirtschaft existiert das sich gegenwärtig kontinuierlich verschärfende Problem der technischen Diversität. Immer mehr unterschiedliche Stoffe und Materialien werden in Produkten verarbeitet und erschweren die sorten- bzw. stoffreine Trennung nach Ablauf der Nutzungsdauer, was besonders im Kontext der knappen Technologiemetalle und seltenen Erden von Bedeutung ist.

Einige technisch-naturwissenschaftliche Fragen sind zu wenig geklärt und hemmen daher die Entwicklung. Dies gilt z. B. für die Vorteile biomassebasierter Produkte, aber auch für den Datenschutz in dezentralen Produktionssystemen.

4.1.3.1.4 Organisationale Pfadabhängigkeiten

In 15 Transformationsfeldern ergaben sich Hinweise auf 38 organisationale Pfadabhängigkeiten.

Abbildung 28: Überblick über Typen organisationaler Pfadabhängigkeiten und Anzahl der jeweils gefundenen Beispiele



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Auch im Kontext der organisationalen Pfadabhängigkeiten sind falsche oder ökologisch unzeitgemäße Prämissen eine wichtige Ursache für die im Sinne einer Transformation wenig dynamische Führung von Organisationen. Folgende Beispiele können genannt werden:

- Niedrige Preise für Lebensmittel und Heizenergie gelten implizit als Teil der Grundversorgung der Bevölkerung und des Sozialsystems. Nach dem jüngsten Vorschlag des Umweltbundesamtes, die Mehrwertsteuer für Fleisch auf 19 Prozent zu erhöhen, kommentierte der Landwirtschaftsminister dies und sagte, er wolle »den Bürgern nicht durch Strafsteuern vorschreiben, was auf den Tisch kommt« (Zeit Online 2017). Letztlich wird nach der römischen Devise regiert und dafür gesorgt, dass das Volk *panem et circensis* bekommt.
- Eine weitere offensichtlich falsche Grundannahme besteht in dem immer wieder unterstellten Zusammenhang zwischen verstärktem Straßenbau und Wirtschaftswachstum.
- In der Politik wird als selbstverständlich angenommen, dass die Landwirtschaft im Umweltrecht einer Sonderstellung bedarf, weil sie mit der Lebensmittelproduktion maßgeblich zur Grundversorgung der Bevölkerung beiträgt. Dass diese Ausnahme, wie die Beispiele der Nitratverseuchung des Grundwassers und die aufgrund des hohen Pestizideinsatzes zusammenbrechende

Biodiversität zeigen, offensichtlich dazu führt, dass die Landwirtschaft eben diese Funktion in absehbarer Zeit nicht mehr erfüllen kann, irritiert in der jeweils laufenden Legislaturperiode kaum jemanden.¹

Wesentlich für organisatorische Stabilitäten sind auch eingetübte Prozesse und die Kulturen in Verwaltung und Unternehmen. So ist festzustellen,

- dass Unternehmen oft (zu?) lange an erprobten Verfahren und Prozessen festhalten, was sich z. B. in der langen Aufrechterhaltung von auf fossile Energien ausgerichteten Geschäftsmodellen von Energieversorgern trotz erklärter Energiewende und in der Produktion von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren trotz klarer Erkenntnis ihrer Klimaeffekte zeigt,
- dass in einigen Fällen Zurückhaltung in der F & E (z. B. im Kontext von Low-Exergy-Technologien) und in Folge dessen fehlende Qualifikationen im Kontext neuer Technologien und Lösungen zu beobachten sind und
- dass Unsicherheiten sowie die grundsätzliche Strategie der Vermeidung von Risiken Organisationen zögern lassen, sich Neuem zuzuwenden.

Die Aufrechterhaltung erprobter Geschäftsmodelle und Produktionsweisen zeigt sich oft als gemeinsames Interesse von Unternehmen einer Branche. Diese setzen ihre Verbände dann als Vertreter von Lobbyinteressen in Bewegung. Die Unternehmerseite, oft über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg, vertritt ihre Lobbyinteressen in der Landwirtschaft, der Pkw-Produktion und auch in der Heizungstechnik aktiv und wirksam. Unterstützend werden in manchen Branchen, z. B. Energie und Fahrzeugbau, die Gewerkschaften mit dem Argument der Erhaltung von Arbeitsplätzen aktiv.

Ein »Spezialproblem« in der Landwirtschaft besteht darin, dass die Landwirtschaft (zum Teil aus gutem Grund, aber) im Gegensatz zu den meisten anderen produzierenden Gewerben und Industriezweigen durch ein eigenes politisches Ressort verwaltet wird. Die Landwirtschaftsverwaltung übernimmt dabei auch Aufgaben, die in anderen Wirtschaftszweigen den Umweltbehörden obliegen. Aufgrund der historisch gewachsenen Verflechtung von Landwirtschaftsverwaltung und landwirtschaftlicher Praxis wiegen die Interessen der Landwirtschaft in diesem Zusammenhang oftmals schwerer als umweltrechtliche Ziele, während die Umweltverwaltung im Kontext der Landwirtschaft zu wenig Einfluss und Möglichkeiten zum Vollzug hat.

1 Im Januar 2017 kündigte der BDEW stark steigende Wasserpreise an, da der Entwurf der Düngeverordnung gegenwärtig nicht ausreiche, um Boden und Grundwasser vor den Folgen einer weiter zunehmenden Überdüngung zu schützen. In vielen Wasserversorgungsgebieten würde daher eine aufwendige Denitrifizierung notwendig (Hannoversche Allgemeine Zeitung 2017b).

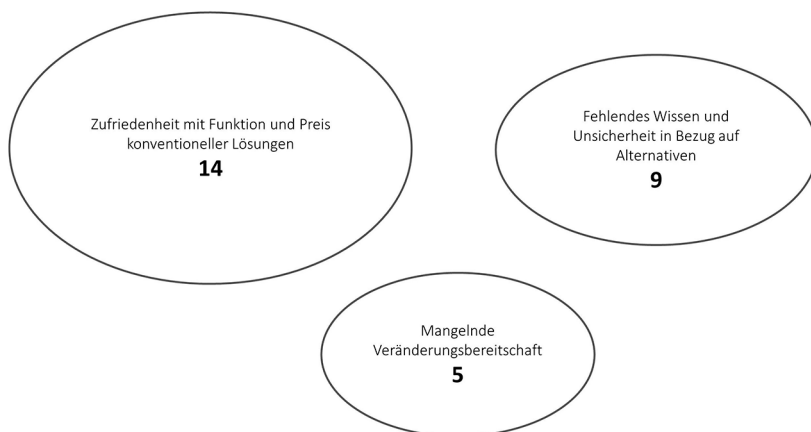
In allen vier Transformationsbereichen haben wir auch einzelne organisationale Pfadabhängigkeiten identifiziert, die sich kaum gruppieren lassen. Dies gilt z. B. für folgende Sachverhalte:

- So ist z. B. die solare Wärmeversorgung in den Statistiken verkaufter Wärmeversorger nicht sichtbar, weil hier nur »Erstgeräte« erfasst werden. Elektroautos wurden in den Zulassungsstatistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes teilweise in falsche Leistungsklassen eingestuft, da die Behörde die Einheiten kW für Leistung und kWh für Energie nicht zu unterscheiden in der Lage war (Kraftfahrtbundesamt 2016, S. 43).
- Die kommunale Planungspraxis ist nicht darauf ausgerichtet, Wärmeversorgung als gebäudeübergreifende Planungsaufgabe wahrzunehmen.
- Es existiert keine Lösung, das Eigentum an Korridorflächen (grüne Infrastrukturen) einfach und zentral zu verwalten, wie dies z. B. in Großbritannien für viele Flächen unter Naturschutz im *National Trust* erfolgt (National Trust 2017).

4.1.3.1.5 Nutzungsbezogene Pfadabhängigkeiten

In der Analyse der 15 Transformationsfelder wurden 27 nutzungsbezogene Pfadabhängigkeiten ermittelt.

Abbildung 29: Überblick über Typen nutzungsbezogener Pfadabhängigkeiten und Anzahl der jeweils gefundenen Beispiele



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Die nutzungsbezogenen Pfadabhängigkeiten lassen sich drei Kategorien zuordnen. Im Zentrum steht die Zufriedenheit mit Funktion und Preis konventioneller Lösungen:

- Große Teile der Bevölkerung sind mit dem etablierten Regime und seinen Produkten und Services einfach zufrieden. Preiswertes Fleisch, große, schlecht sanierte, aber aufgrund niedriger Energiepreise billig zu heizende Wohnungen, hochpreisige Rennreiselimousinen mit viel Komfort: Viele von uns sehen bei diesen Angeboten Preis und Leistung in einem vernünftigen Verhältnis.
- Durch Gewöhnung verstärkt sich dieser Effekt der Zufriedenheit, z. B. auch durch das Erleben von »Freiheit« bei der Mobilität im eigenen Auto.
- Vorhandene Alternativen können mangels besserer Funktion bei vergleichbarem Preis den Wunsch zum Wandel oftmals nicht wecken, wie z. B. die Betrachtung der regenerativen Heizanlagen, des Carsharings oder noch in 2016 der Elektromobilität zeigt.
- Folgeprobleme, die z. B. durch die Wahl recycelbarer Produkte oder durch die ordnungsgemäße Entsorgung des eigenen Altwagens vermieden werden könnten, spielen für die Konsumententscheidung der Masse kaum eine Rolle.

Stabilisiert wird das Aufrechterhalten gewohnter Konsumformen durch fehlendes Wissen und Unsicherheiten in Bezug auf Alternativen.

- Konsumentinnen und Konsumenten sowie teilweise auch Landwirtinnen und Landwirte wissen so wenig über die umweltbelastenden Folgen des konventionellen Landbaus und die Vorteile des Ökolandbaus, dass sie ihre Konsumentscheidungen und Produktionsweisen nicht ändern.
- Unsicherheiten in Bezug auf Funktion, Reichweite und Ladesysteme führen über das Problem der zu hohen Anschaffungspreise hinaus zu einer nur sehr zögerlichen Markterschließung durch Elektromobile.
- Falsche Vorstellungen über die Kosten der Sanierung und Unkenntnis über die Vorteile hinsichtlich des Wohnkomforts drücken die Zahl der Hausbesitzerinnen und -besitzer, die eine umfassende energetische Sanierung angehen.

Abgerundet werden diese Pfadabhängigkeiten durch einen verbreiteten Mangel an Bereitschaft, Alternativen zu nutzen oder auszuprobieren.

4.1.3.2 Typische Netzwerkbeziehungen von Pfadabhängigkeiten

Mit Blick auf diese Analysen lassen sich mehrere Systeme identifizieren, in denen zusammenwirkende Pfadabhängigkeiten Regime in jeweils unterschiedlichen Konstellationen stabilisieren. Der unterschiedliche Charakter der stabilisierenden Wirkung ist dabei aus zwei Gründen von Bedeutung:

- Je nach Dauerhaftigkeit der zugrunde liegenden Abhängigkeiten hat der Charakter der das Regime stabilisierenden Lock-in-Systeme Auswirkungen auf die Zeitdauer jeder möglichen Transformation der jeweiligen Strukturen.

- Je nach involvierten Schlüsselakteurinnen und -akteuren können sehr unterschiedliche Transformationsstrategien angemessen sein.

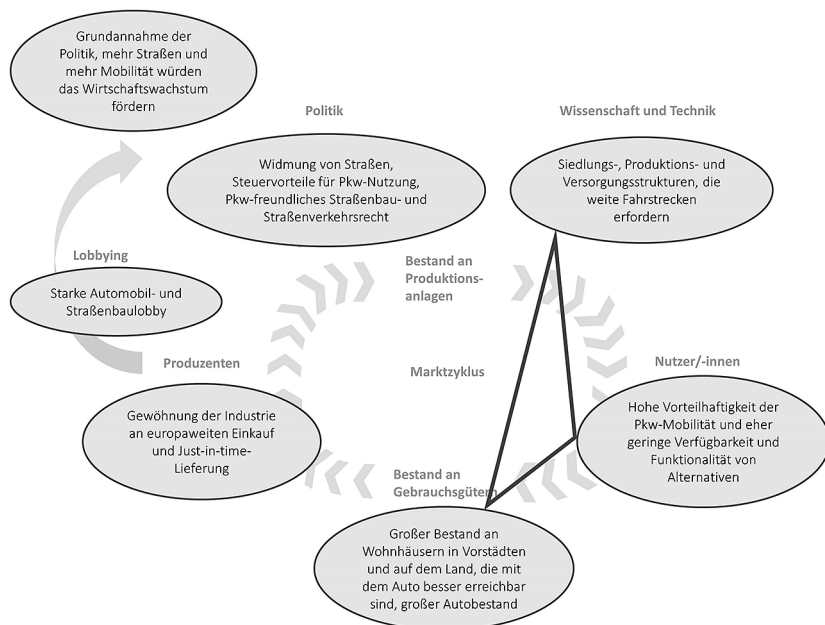
Folgende Systeme von zusammenwirkenden Pfadabhängigkeiten konnten identifiziert werden:

4.1.3.2.1 Gebaute Infrastrukturen und Nutzungsnotwendigkeiten

Als einziges Beispiel dieses wohl dauerhaftesten Lock-ins wurde das Lock-in-System in Straßenbau und Automobilität identifiziert.

Basis der äußerst dauerhaften Stabilität dieses Systems ist die gebaute Wohn-, Produktions- und Versorgungsinfrastruktur, die neben den Straßen letztlich auch alle über Straßen und mit Automobilen besser und schneller erreichbaren Gebäude und Destinationen umfasst.

Abbildung 30: Lock-in-System in Straßenbau und Automobilität



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Wohngebäude, Versorgungs- und Produktionsanlagen dürften mit zu den höchsten Werten gehören, über die unsere Gesellschaft verfügt. Ihre Nutzung ist für die gewohnte Lebensführung zentral. Die hohen hier festliegenden Werte sind untrennbar damit verbunden, dass diese Strukturen nur in äußerst langen Zeiträumen verändert werden können.

Wichtig ist der Blick auf das Faktum, dass das hohe Maß an individueller Automobilität zum Ausbau dezentraler Siedlungsstrukturen (z. B. Neubaugebiete in Vororten und Dörfern) beigetragen und so zu weiten Wegen in der täglichen Lebensführung vieler Menschen geführt hat, sodass das Auto heute von vielen als unverzichtbar empfunden wird. Ein seit Jahrzehnten zugunsten des Autos verschobener Modal Split hat zu einem deutlichen Ausdünnen des öffentlichen Nahverkehrs in ländlichen Regionen und Vororten geführt. Alternative Mobilitätskonzepte wie stationäres und Free-Floating-Carsharing, Online-Mitfahrzentralen und der Umweltverbund haben zwar das Potenzial, jeweils fokussiert auf einzelne geografische Gebiete oder soziale Milieus Beiträge zu einem umweltverträglicheren Verkehr zu leisten, die Um- oder Durchsetzung einer autofreien oder auch nur autoarmen Gesellschaft liegt heute aber politisch in weiter Ferne.

Es folgt die politische Konsequenz, dass es zur Realisierung eines klimaneutralen Individualverkehrs nicht ausreicht, auf die zunehmende Verbreitung alternativer Mobilitätsangebote zu warten. Diese werden zwar in den kommenden Jahren den Modal Split um einige Prozentpunkte verschieben, z. B. durch ein weiteres Anwachsen des Fahrradverkehrs, aber klimaneutrale Automobilität, z. B. mit Elektro- oder Brennstoffzellenantrieb, wird dennoch eine zentrale Säule einer realistischen Umweltpolitik im Verkehr darstellen müssen.

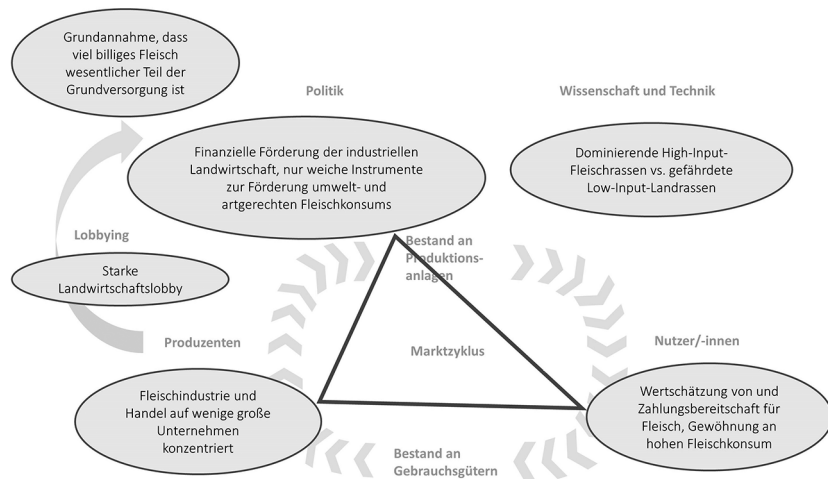
Die wärmetechnische Sanierung von Gebäuden betrifft zwar ebenfalls die »gebauten Infrastrukturen«, erzwingt aber keine Änderung ihrer Nutzung. Die der Sanierung entgegenstehenden Pfadabhängigkeiten sind daher als deutlich weniger ausgeprägt einzustufen.

4.1.3.2.2 *Persistente Nutzungsgewohnheiten*

Als ebenso einziges Beispiel eines im Wesentlichen auf Gewohnheiten basierenden Lock-in-Systems wird der Fleischkonsum vorgestellt.

Im Gegensatz zur Nutzung des Automobils ist der Konsum von Fleisch keine Notwendigkeit. Er könnte grundsätzlich von jedem von uns von einem Tag auf den anderen eingestellt werden. Aufgrund der Gewöhnung an Fleisch, der Wertschätzung für Fleisch und einer Reihe gesellschaftlicher Konventionen im Kontext des gemeinsamen Essens geschieht dies nur durch eine bisher überschaubare Zahl von Menschen, die sich vegetarisch oder vegan ernährt, sowie anteilig durch eine etwas größere Zahl von Menschen, die weniger Fleisch isst. Im Zentrum des Lock-in-Systems steht hier der Marktzyklus, bei dem eine hohe Wertschätzung und eine angemessene Zahlungsbereitschaft auf Seiten der Kundschaft und eine leistungsfähige und profitable Branche auf der anderen Seite stehen.

Abbildung 31: Lock-in-System im Fleischkonsum



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Wesentlich für die dauerhafte Funktion des Lock-in-Systems für den Massenkonsum von Fleisch ist ein vorteilhaftes Preisniveau mit der Folge, dass es notwendig wird, die Kosten und Verpflichtungen von Landwirtschaft und Agrarindustrie aus sozialen und umweltbezogenen Ansprüchen heraus niedrig zu halten. Der Rechtsrahmen wird hierzu geeignet gestaltet. Hier wirken Wirtschaftslobbys und wechselnde Regierungen zusammen. Das Leitmotiv ist, dass preiswertes Fleisch (und in größerem Rahmen preiswerte Lebensmittel) als notwendig für die Versorgung der Bevölkerung postuliert werden. Die schon von den Römern formulierte *Maxime, das Volk brauche panem et circensis*, ist hier immer noch nützlich. Das zentrale Problem dieses Lock-ins ist, dass im Namen der billigen Currywurst das Grundwasser in weiten Teilen Deutschlands nicht mehr trinkbar sein und die Biodiversität bis zu einem Zusammenbruch der biologischen Systeme geschädigt werden wird. Hier ist auch auf den engen Zusammenhang der Fleisch- und Futtermittelproduktion zu den Problemfeldern »Stickstoffeintrag«, »Pestizideinsatz« und »grüne Infrastrukturen« (Tappeser und Chichowitz 2017a, 2017b; Tappeser et al. 2017) hinzuweisen.

Die politische Grundannahme, dass die Landwirtschaft aufgrund ihres Beitrages zur Grundversorgung eine Sonderstellung in der Umweltpolitik benötige, muss also letztlich durch eine verantwortliche Politik in Frage gestellt und ein wirksamer Schutz der Umweltgüter durchgesetzt werden. Nur so kann verhindert werden, dass sich die Landwirtschaft selbst die Möglichkeit nimmt, zur Grundversorgung der Bevölkerung beizutragen.

Die zeitliche Charakteristik der Pfadabhängigkeiten wird in diesem Problemfeld eher durch die Durchsetzbarkeit politischer Änderungen wie auch durch die

Fähigkeit des landwirtschaftlichen Systems bestimmt, andere Produktionsformen überhaupt zu realisieren. Von Einfluss könnten hier mindestens sein:

- Die Notwendigkeit, die Kenntnisse in ökologischem oder zumindest ökologischem Landbau von der Gruppe der etwa 6,5 Prozent (Flächenanteil) nach Richtlinien des Ökolandbaus arbeitenden Landwirte auf die restlichen 93,5 Prozent der Landwirte zu übertragen
- Die Tier- und Pflanzenzucht auf Rassen und Sorten umzustellen, die sich im ökologischen Landbau bewähren
- Die Produkte aus dem Dünger- und Pflanzenschutzkontext auf für Ökolandbau geeignete Produkte umzustellen

Im Vergleich zu den Zeitskalen, in denen die gebauten Infrastrukturen geändert werden können, dürfte sich dies bei vorhandenem Willen von Wirtschaft und Gesellschaft in ca. zwei Jahrzehnten bewältigen lassen. Als zeitkritisch könnte sich dabei die Tier- und Pflanzenzucht erweisen.

Ein ähnlicher Fall persistenter Nutzungsgewohnheiten scheint bei oberflächlicher Betrachtung im Kontext der preiswerten fossilen Heizung unsanierter Gebäude vorzuliegen. Da aber hier das eigentliche Bedürfnis an warmen und komfortablen Wohnräumen besteht und dieses auch mit einer regenerativen Heizanlage erfüllt werden kann, ist dieser Fall deutlich anders zu beurteilen.

4.1.3.2.3 *Technisch-institutionelle Komplexe mit starken technischen Defiziten*

Lock-in-Systeme technisch-institutioneller Art, die durch starke technische Defizite gekennzeichnet sind, wurden in insgesamt sechs Fällen identifiziert und verteilen sich auf drei Wendethemen:

- Im Pkw-Verkehr mit den Pkw-Antrieben und der Altautoentsorgung
- In der Wärmeversorgung mit Wärmenetzen
- Im Feld der Rohstoffe und Ressourcen beim *feedstock change*, bei Technologiemetallen und Mikroschadstoffen

Die technisch-institutionellen Komplexe kennzeichnet zunächst, dass die Rolle der Nutzerinnen und Nutzer durchweg eher passiv oder randständig ist. Die Anbieterseite, also die Produkthersteller und die mit ihnen verknüpfte Wertschöpfungskette, kann also weitgehend machen »was sie will«, solange dabei ein funktionales, sicheres und preislich angemessenes Produkt herauskommt.

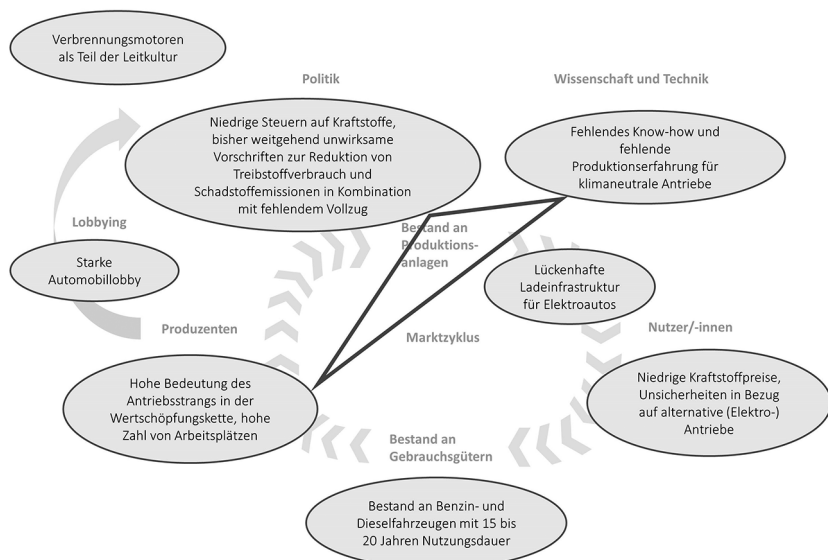
Bei denjenigen technisch-institutionellen Komplexen mit starken technischen Defiziten ist das Lock-in aber nicht nur in der Gewöhnung an ein profitables Geschäftsmodell begründet. Bei ihnen ist zusätzlich zu beachten, dass die Entwicklung technischer Alternativen entweder grundsätzlich starke Lücken aufweist

oder aber ihre Realisierung so aufwendig ist, dass eine lange Zeitspanne dafür veranschlagt werden muss. Die Gründe hierfür sind unterschiedlich:

- Bei Pkw-Antrieben mangelt es in Deutschland an technischem Wissen und Produktionsanlagen für Elektroantriebe und ihre Komponenten.
- In der Wärmeversorgung mit Wärmenetzen mangelt es an Erfahrung mit technischen Komponenten wie Niedrigtemperatur-Wärmenetzbetrieb, Saisonspeichern und Wärmetransformatoren; aber auch darüber hinaus ist der Netzaufbau aufwendig und langwierig.
- Im Feld des Recyclings von Technologiemetallen, z. B. in der Altautoentsorgung, ist die Stoffvielfalt und die schlechte Demontierbarkeit ein Problem, welches insoweit schwer zu lösen ist, als dass sehr viele Produkte und Produktionsketten betroffen sind. Ähnlich ist es auch bei der Stoffvielfalt bei Mikro-schadstoffen, deren Vermeidung an der Quelle ebenfalls unzählige Produkte betreffen würde.
- Beim *feedstock change* in der chemischen Industrie liegt das technische Problem in der Nicht-Verfügbarkeit der notwendigen Mengen nachwachsender Rohstoffe und in der begrenzten Fähigkeit chemischer Prozesse, mit schwankenden Rohstoffqualitäten umzugehen.

Beispielhaft liegt ein solcher Fall im Lock-in in den Verbrennungsmotor vor.

Abbildung 32: Lock-in-System der Pkw mit Verbrennungsmotor



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Die Gründe für das Lock-in lassen sich wie folgt beschreiben:

- Produkte und/oder Produktionskonzepte haben sich sowohl funktional als auch preislich als tauglich für den Massenmarkt erwiesen.
- Sowohl durch die kontinuierliche Verbesserung der zur Verfügung stehenden Technologien und Produktionsmittel als auch über *economy of scale*, ggf. auch durch Export, sammelt das Regime Erfahrungen, steigert die Umsätze und realisiert dauerhafte Profite.
- Durch die Argumentation mit volkswirtschaftlichen Beiträgen wie die Zahl der Arbeitsplätze oder die Exportquote lässt sich ein Wohlwollen der Politik erreichen. Durch kontinuierliches Lobbying werden Rechtsetzungen im Sinne der Branche gestaltet und so der ökonomische Rahmen langfristig verbessert.
- Letztlich kommt hinzu, dass der langfristige Erfolg mit dem dominanten Design und die scheinbar stabilen Beziehungen zur Politik die Branche vergessen ließ, sich außer um den Kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) auch um Grundlageninnovationen zu kümmern.

Letztlich ist so nicht nur ein erfolgreiches Produktionsregime stabil, sein Infra-gestellen scheitert überdies am Nichtvorhandensein wesentlicher Komponenten bzw. Alternativen. Die Vorbereitung solcher Alternativen in Nischen ist nur begrenzt zu beobachten, ein unvorbereiteter Pfadwechsel ist aber kaum möglich bzw. aufgrund der für die F & E erforderlichen Fristen langwierig.

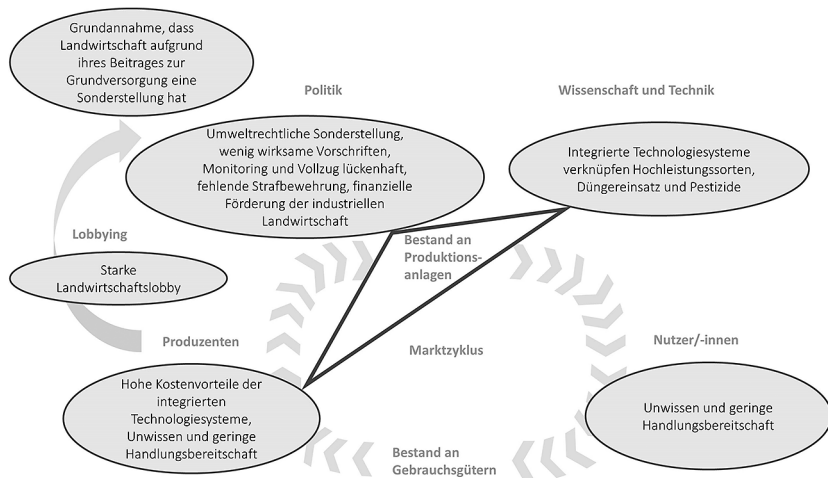
4.1.3.2.4 *Technisch-institutionelle Komplexe mit verfügbarer Alternative*

Technisch-institutionelle Komplexe mit verfügbarer Alternative sind zu finden

- in der Wärmeversorgung mit dem Sanierungsbedarf von Gebäuden sowie beim EE-Anteil an der Gebäudewärmeversorgung,
- in Landwirtschaft und Ernährung mit dem Stickstoffeintrag und dem Pesti-zideinsatz sowie im Kontext grüner Infrastrukturen.

Auch die technisch-institutionellen Komplexe mit verfügbarer Alternative kennzeichnet eine eher passive Rolle der Nutzerinnen und Nutzer. Solange die Anbieterseite funktionale, sichere und preislich angemessene Produkt erzeugt, nehmen die oft schlecht informierten und wenig zu aktivem Handeln motivierten Nutzerinnen und Nutzer kaum Einfluss auf die Wertschöpfungskette.

Abbildung 33: Lock-in-System in der landwirtschaftlichen Produktion



Quelle: Eigene Darstellung, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

Die Stabilität solcher Systeme liegt ganz zentral in ihrer wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit. Die wesentlichen Dynamiken sind ähnlich wie bei den technisch-institutionellen Komplexen mit starken technischen Defiziten. Die Lock-in-Systeme stützen sich auf massenmarkttaugliche Erzeugnisse und sichern Umsätze und Profite durch die langfristige Weiterentwicklung der Herstellungsroutinen und Produkte sowie durch die Vorteile der *economy of scale*. Auch volkswirtschaftlich ist das Regime aufgrund der Zahl der Arbeitsplätze und der Exportquote von hoher Bedeutung für die Politik. Lobbybemühungen bewirken häufig eine aus Branchenperspektive günstige Rechtsetzung und tragen zusätzlich zur langfristigen Stabilisierung des Regimes bei.

Der Kern der Wirksamkeit eines solchen Systems der Pfadabhängigkeiten besteht in der Entwicklung technisch-ökonomisch-rechtlicher Synergien mit den Zielen des Wachstums der Märkte und der Erzielung von Gewinn. Förderliche ökonomische Randbedingungen, z. B. niedrige Kosten für Energie und Rohstoffe sowie geringe gesetzliche Ansprüche an Sozialleistungen und Umweltschutz, sind hier wichtig.

Die Angreifbarkeit solcher Systeme beruht letztlich auf der Aktivität gesellschaftlicher Stakeholder wie Vertreterinnen und Vertreter der Interessen der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, der Umwelt, von internationalen Zulieferern oder Verbraucherinnen und Verbrauchern.

Die Dauerhaftigkeit solcher Systeme ist bedroht durch Alternativtechnologien, die in Nischen entwickelt und erprobt wurden. Solche Alternativen sind für die oben angeführten Felder verfügbar:

- Sanierungstechnologien für die Wärmesanie- rung sind in einer erheblichen Angebotsbreite verfügbar.
- Gleiches gilt für Heizungsanlagen auf Basis regenerativer Energie: Solarthermie, Biomasseheizungen und Wärmepumpen sind serienreif und können grundsätzlich am Markt beschafft werden. Gleiches gilt mit Ausnahme einiger Technologiekomponenten für den Ausbau der Wärmenetze.
- Als Alternative zu der stark umweltbelastenden industriellen Landwirtschaft bietet sich der ökologische Landbau als Gesamtkonzept oder mit seinen Einzelverfahren an.

Mit Blick auf diese Lock-in-Situationen ist der Pfadwechsel grundsätzlich abhängig von seiner politischen Durchsetzbarkeit sowie von denjenigen Fristen, die es braucht, die verfügbaren Alternativen zu skalieren.

4.1.3.3 Zentrale Erkenntnisse zu Pfadabhängigkeiten

Es gibt verschiedene Typen von Pfadabhängigkeiten, die auf unterschiedliche Weisen und unter deutlicher Verstärkung ihrer einzelnen Wirkung verknüpft sein können.

Ein zentraler externer Faktor für Veränderungen ist beispielsweise die technische Leistungsfähigkeit. Solange nur Japan und die USA über genügend Know-how (gemessen an Patenten und der Anzahl der tatsächlich verkauften Autos) verfügten, um hochwertige Elektroautos zu bauen, hat die europäische Automobilindustrie, der das einschlägige technische Wissen noch fehlte, den Wandel systematisch verlangsamt. Die von den starken Autolobbyverbänden geprägte Politik zielte darauf, den historischen Pfad der Benzin- und Dieselaufomobile zu verlängern. Die technische Pfadabhängigkeit des mangelnden technischen Wissens verknüpft sich mit ökonomischen Interessen von Unternehmen wie auch Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern und der Grundüberzeugung, dass Automobile nur mit einem Brennstoff gefahren werden können, zu einer äußerst wirksamen Barriere für grundsätzliche Veränderungen.

Etablierte Unternehmen sind dabei oft wichtige Akteure der Transformation, da ihr Einfluss auf die Verbreitung neuer Lösungen hoch ist (Fichter und Clausen 2013, 2016). Unsere Analyse ergab, dass in der Unternehmenskultur etablierter Unternehmen wichtige Pfadabhängigkeiten bestehen können. Nicht jedes Management in der Wirtschaft oder in der Politik teilt z. B. die Vision von 100 Prozent erneuerbaren Energien, und einige können sich nicht einmal vorstellen, dass das Pariser Klimaabkommen jemals wirklich umgesetzt werden wird. Sie können sich eine Welt ohne Benzin- und Dieselaufos, ohne Benzin- und Ölzentralheizung oder ohne die Gewohnheit, neue Straßen zu bauen, einfach nicht vorstellen. Auch wenn sie sich auf strenge Klimaschutzziele einigen, sind sie überzeugt, dass wir auch in Zukunft fossile Artefakte brauchen werden.

Wir sind überzeugt, dass eine sorgfältige Analyse der Pfadabhängigkeiten eine realistische Sicht auf das Transformationsprojekt in den verschiedenen Sektoren erleichtert. Die Analyse von Pfadabhängigkeiten ermöglicht es oft, Gewinner/-innen und Verlierer/-innen zu identifizieren (es gibt kein Transformationsfeld nur mit Win-Win-Situationen) und erleichtert die Entwicklung einer Politik, die möglichst viele Beteiligte und Gruppen in das Transformationsprojekt einbezieht und für die negativ Betroffenen plant.

Aber politische Regelungen zur Steuerung der Transformation sind sorgfältig und mit Blick auf Wirksamkeit und Vollzug zu entwickeln. Unsere Analyse hat zahlreiche Regelungen identifiziert, die den Wandel zu unterstützen scheinen, während sie aber letztlich alte Praktiken durch eine Vielzahl von Lücken in die Zukunft übertragen. Tatsächlich unterstützen einige dieser Vorschriften überhaupt keine Änderungen. Solche »Regelungen ohne Wirkung« dienen als politisches Mittel zur Befriedung kritischer Gruppen und *change agents*, während sie andererseits ein Licht auf Politikerinnen und Politiker werfen, die selbst nicht an echte Veränderungen glauben oder diese anstreben.

Die Analyse der fünf Typen von Pfadabhängigkeiten führt insgesamt zu fünf zentralen Erkenntnissen:

- Zunächst fußen viele rechtliche und organisationale Pfadabhängigkeiten auf Grundannahmen, die mit Blick auf Fragen der Nachhaltigkeit überholt oder falsch sind. Auf Basis solcher Grundannahmen entsteht Recht und werden Organisationen geführt. Solche von Schein (1985, S. 14) als »unhinterfragte Grundannahme« charakterisierten Entscheidungsgrundlagen können sehr effektiv und langanhaltend Änderungen hemmen.
- Sowohl die fallweise falschen Grundannahmen und Ziele der Rechtssetzung wie auch die Aktivität von Lobbygruppen führen dann dazu, dass gegenwärtig an viel zu vielen Stellen wenig wirksames Umweltrecht entsteht. Die Gesetze und Verordnungen, die nach langen Debatten im politischen Prozess beschlossen werden, haben oft den Charakter von Kompromissen unterschiedlicher Zielsetzungen und weisen dann Lücken oder Hintertüren auf. Bei solch »lückenhaftem Umweltrecht« scheint es sich nicht nur um Einzelfälle, sondern vielmehr um ein generelles Prinzip zu handeln, das einer vertieften Untersuchung bedarf.
- Kostendruck und hohe Pfadwechselkosten stehen einem Pfadwechsel genauso entgegen wie fehlende Technologien und Infrastrukturen, deren Entwicklung bzw. Bereitstellung ihrerseits mit Pfadwechselkosten verbunden sind. Der Minimierung von Pfadwechselkosten sollte unter Umständen höhere Aufmerksamkeit zukommen.
- Die Zufriedenheit vieler Nutzerinnen und Nutzer mit den Eigenschaften und Kosten »klassischer« Produkte (bzw. mit den angenommenen und kommu-

nizierten Zusatznutzen neuer Produkte) ist ein möglicherweise von der Umweltpolitik häufig unterschätztes Faktum. Es bietet sich hier ein vertieftes Studium des Zusammenhangs von Werthaltungen und Einkommen in verschiedenen gesellschaftlichen Milieus und der möglicherweise zwischen den Milieus sehr unterschiedlichen Vorbildfunktion von innovativen Leitkundinnen und -kunden an. Hierzu gehört auch eine allgemeine Veränderungsbereitschaft (»Macht der Gewohnheit«).

- Im Zentrum der Transformationsdynamik steht eine Vielzahl von Märkten, in denen Waren verkauft und gekauft werden. Viele der Waren oder Technologien sind Teil größerer technologischer Regimes (Kemp, 1994), und die Transformation solcher Märkte ist eng miteinander verknüpft. Diese Güter oder technologischen Systeme können nachhaltig sein oder nicht, und sowohl Lieferbetriebe als auch Nutzerinnen und Nutzer sind an Gewohnheiten, Organisationsstrukturen oder einfach an Investitionen und Infrastrukturen gebunden, die es leicht machen, den alten Weg zu gehen.

4.2 Erfolgsfaktoren aus 20 Transformationsbeispielen in den Bereichen Wärme, Mobilität und Ressourcen

Nachdem im Kapitel 4.1 zentrale Erkenntnisse zu Pfadabhängigkeiten und Hindernissen für eine Transformation zu einer Green Economy herausgearbeitet wurden, zielt dieses Kapitel darauf ab, wesentliche Voraussetzungen und Praktiken für erfolgreiche Pfadwechsel zu identifizieren. Dabei sollen sowohl übergreifende als auch transformationsfeldspezifische Erfolgsfaktoren für Transformationsprozesse bestimmt werden. Im Zentrum steht die Betrachtung von insgesamt 20 Transformationsbeispielen, die als Best-Practice-Fälle Anschauungsmaterial für (potenziell) erfolgreiche Transformationsansätze bieten. 17 der Transformationsbeispiele können inhaltlich den drei Wendethemen »Elektromobilität«, »Wärmeversorgung« und »Ressourceneffizienz« zugeordnet werden. Zusätzlich wurden drei übergreifende Transformationsbeispiele untersucht.

Der Analyserahmen für die Untersuchung der Transformationsbeispiele beruht auf dem in Kapitel 3.2 erläuterten und für dieses Vorhaben angepassten Models-of-Change-Ansatz. Gleichzeitig spielen auch Pfadabhängigkeiten (siehe Kapitel 3.1) und die Perspektive der drei Basisstrategien Effizienz, Konsistenz und Suffizienz (siehe Kapitel 3.3) eine wichtige Rolle in der Betrachtung der Transformationsbeispiele.

Die zentrale Forschungsfrage betrifft die Identifikation dessen, was Transformationsprozesse erfolgreich macht. In anderen Worten: