

Nur das Richtige im Falschen?

Mobilität zwischen Innovation und automobiler Pfadabhängigkeit

Fabian Zimmer

Einleitung

Der Verkehrssektor in der Bundesrepublik Deutschland und anderen Ländern ist gegenwärtig mit diversen Herausforderungen konfrontiert, die ihren Ursprung in einer Vielzahl von zum Teil interdependenten Entwicklungen haben: Der Klimawandel und hohe urbane Luftschatstoffemissionen erfordern emissionsärmere Antriebe; der »Dieselskandal« hat das Vertrauen in die Automobilindustrie erschüttert; technologische Fortschritte in den Bereichen Digitalisierung und E-Mobilität fordern die Dominanz des Personenkraftwagens (PKW) und des Verbrennungsmotors heraus; und konsekutive politische Maßnahmen wie die Förderung von umweltfreundlicheren Antrieben und die Verschärfung von Grenzwerten in Deutschland und besonders in Importländern deutscher Fahrzeuge befördern diesen Umbruch.

Nach langem Zögern versuchen deswegen Politik und Industrie mit Hochdruck von Getriebenen zu Gestaltern dieser Transformation zu werden, wobei dem Ausbau der E-Mobilität eine entscheidende Rolle zukommt. Denn diese wird von der Bundesregierung wie auch den Automobilherstellern als zentrales Instrument erachtet, um nicht nur Emissionen zu senken, sondern auch die Wettbewerbsfähigkeit der Automobilindustrie sowie des Industriestandortes und die damit verbundene Wertschöpfung zu erhalten (Altenburg 2014: 23). Zudem wäre zwar der Aufbau einer Ladeinfrastruktur für die neuen Antriebe notwendig, aber weder ein tiefgreifender Umbau der Verkehrsinfrastruktur noch ein Wandel in Verkehrsverhalten und Routinen. Auch eine Kopplung mit der Energiewende scheint möglich, da E-Autos entweder direkt als Zwischenspeicher genutzt werden können (batterieelektrisch) oder über-

schüssiger Strom in Wasserstoff umgewandelt und als Treibstoff genutzt werden kann (Brennstoffzelle) (siehe hierzu den Beitrag von Kemmerzell/Knodt in diesem Band; BMWi 2019a).

Ob allerdings die Automobilkonzerne und deren Fokussierung auf batterieelektrische Antriebe (VDI/VDE 2019: 13f.) langfristig in der Lage sind, gegenwärtigen und zukünftigen Herausforderungen im Mobilitätssektor erfolgreich zu begegnen, ist heute zumindest fraglich. Denn auch in einer von individueller E-Mobilität geprägten Gesellschaft bestehen negative Folgerscheinungen wie Flächenverbrauch oder Emissionen¹ fort, zudem können neue Probleme durch die Externalisierung von Umwelt- und Sozialrisiken erfolgen (Öko-Institut 2017; AI 2017).

Dieser Beitrag nutzt das Konzept der Pfadabhängigkeit, welches als besonders geeignet erscheint, »weil Entscheidungen im Verkehrssektor auf Basis vieler Unbekannter gefällt werden müssen« (Fischedick/Grunwald 2017: 24). Dabei wird untersucht inwieweit automobile Pfadabhängigkeiten im Rahmen des Wandels hin zu elektrischen Antriebssystemen fortbestehen, sich wandeln oder sogar verstärkt werden. Das Ziel ist es dabei nicht die ökonomischen, ökologischen oder technologischen Implikationen der E-Mobilität zu analysieren oder Empfehlungen bezüglich einer Verkehrswende zu entwickeln. Stattdessen sollen mögliche künftige Entwicklungen und die Risiken weiterer Pfadstabilisierungen aufgezeigt werden, welche zukünftige Richtungswechsel bei Antriebstechnologien oder auch der grundlegenden Prioritäten im Verkehrssektor erschweren oder sogar blockieren können. Denn im Gegensatz zu anderen Sektoren sind die Weichen im Mobilitätssektor noch nicht hin zu nachhaltigem Verkehr gestellt (Fischedick/Grunwald 2017: 11). Dies erhöht den Handlungsdruck und damit auch die Gefahr Pfade einzuschlagen, welche sich in Zukunft als suboptimal erweisen können.

Geschichte des Automobils und damit verbundene Pfadabhängigkeiten

Um die Bedeutung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) allgemein und dabei im Besonderen die Rolle des Verbrennungsmotors für die bundesdeut-

¹ Die Emissionen können dabei im Gebrauch durch Reifen- und Bremsabrieb entstehen, in der Wertschöpfungskette bei Ressourcenabbau und Fertigung oder in der Stromproduktion.

sche Verkehrspolitik wie auch die daraus resultierenden Hemmnisse für eine grundlegende verkehrspolitische Transformation nachzuvollziehen, ist eine Betrachtung der Geschichte des Autos essenziell. Generell besteht in der wissenschaftlichen Literatur ein Konsens darüber, dass sich seit der Durchsetzung des Automobils als vorherrschendes Verkehrsmittel signifikante Pfadabhängigkeiten sowohl der automobilen Mobilität allgemein wie auch des Verbrennungsmotors entwickelten (siehe dazu beispielsweise Canzler/Knie 2018; Altenburg 2014; Åhman/Nilsson 2008; Cowan/Hultén 1994). Dies korreliert mit den Erfahrungen bei anderen komplexen Technologien, welche allgemein anfällig für pfadabhängige Entwicklungen sind. Mit zunehmender Nutzung wird mehr Fachwissen generiert und dadurch werden alternative Technologien ausgeschlossen (Lock Out) (Arthur 1989: 116). Ob konkrete pfadabhängige Entwicklungen allerdings positiv oder negativ bewertet werden, ist abhängig von dem Kontext. So kann ein veränderter Kontext zu einer veränderten Bewertung dieser Prozesse führen (Wieland 2009: 26f.).

Wie anhand der historischen Entwicklung des Automobils deutlich gemacht wird, konnte sich das Automobil durch ein Zusammenspiel von technologischen, politischen und gesellschaftlichen Faktoren als vorherrschendes Verkehrsmittel durchsetzen. Maßgeblich begünstigt wurde dieser Erfolg durch die Zuschreibung von Bedeutungen auf das Automobil, die weit über dessen Transportfunktion hinausgehen, beispielweise als Symbol von ökonomischem Erfolg und gesellschaftlichem Status oder als Inbegriff von Freiheit (siehe hierzu die Beiträge von Manderscheid sowie Haas/Jürgens in diesem Band). Im Laufe der Zeit stabilisierte sich dieser Pfad und es entstand ein Lock In, der alternative Ansätze lange Zeit blockierte. Entwicklungen insbesondere in den letzten zehn Jahren deuten allerdings auf eine Herausforderung des Verbrennungsmotors als vorherrschende Antriebstechnologie durch den Elektromotor hin, eine Abkehr von der Dominanz des PKW als führendes Verkehrsmittel ist dagegen nicht erkennbar.

Anfänge und ungeklärte Antriebstechnologie

In den ersten Jahren des Automobils bestand ein Wettbewerb zwischen verschiedenen Antriebstechnologien. So konkurrierten neben Fahrzeugen mit Verbrennungs- und Elektromotoren auch dampfbetriebene Fahrzeuge um die Marktführerschaft. Dabei war das E-Auto anfangs führend, da die Branche über ein gutes Netzwerk verfügte und das Antriebssystem den Mitbewerbern überlegen war (Cowan/Hultén 1994: 65f.). Zudem entwickelte sich die Batte-

rietechnik in dieser Zeit mit hoher Geschwindigkeit und konnte ihre Speicherkapazitäten zwischen 1890 und 1911 mehr als verdoppeln (Cowan/Hultén 1994: 62).

Allerdings bedingten verschiedene technologische und ökonomische Faktoren dennoch eine Durchsetzung des Verbrennungsmotors: so strebten die Hersteller von Verbrennungsmotoren früh eine Massenproduktion von standardisierten und damit günstigeren Fahrzeugen an, während sich Hersteller von E-Auto auf das hochpreisige Premiumsegment fokussierten. Ebenso wurden technische Mängel wie der aufwendige Startvorgang konsequenter behoben als bei den konkurrierenden Technologien (Cowan/Hultén 1994: 66ff.). In der Folge fokussierten Schlüsselakteure zunehmend ihre Forschung und Produktion auf den Verbrennungsmotor, so dass sich dieser als führende Technologie durchsetzen konnte (Arthur 1989: 126f.).

Nachdem sich dieser als Marktführer etablieren konnte, nahm dessen Dominanz durch positive Feedbackprozesse (Increasing returns) weiter zu, so beispielsweise durch die zunehmende Orientierung der Batterieproduktion an den Anforderungen der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, für die deutlich geringere Speicherkapazitäten benötigt wurden (Cowan/Hultén 1994: 62). Dieses Netzwerk von Akteuren aus der Automobil- und Zuliefererindustrie wie auch analoger Technologien, welche sich gegenseitig verstärkten, erschwerten die Entwicklung von Alternativen zu diesem Pfad sowohl hinsichtlich anderer Antriebssysteme als auch anderer Verkehrsmittel. Während somit Technologien und Konzepte, die nicht den technologischen Anforderungen dieses Netzwerkes entsprachen, ausgeschlossen wurden, resultierten daraus für Technologien innerhalb des »Netzwerkes« positive Effekte. Weiterhin reduzierten sich mit zunehmender Verbreitung des Automobils die Produktionskosten (Skaleneffekt), was wiederum die Nutzendenzahlen erhöhte (Cowan/Hultén 1994: 63ff.). Neben den Netzwerkeffekten waren auch die Erwartungen von relevanten Akteuren zur weiteren Entwicklung bedeutsam, da die Annahme der Bildung eines »Lock In« dieser Technologie ebendiese Entwicklung beschleunigte (Arthur 1989: 123).

In der Folge stellten die abnehmenden Forschungsaktivitäten im Bereich der Speichertechnologie und die damit stagnierenden Reichweiten einen entscheidenden Wettbewerbsnachteil für Elektrofahrzeuge dar (Altenburg 2014: 6). Die Durchsetzung des Verbrennungsmotors im Wettbewerb mit anderen Fahrzeugantrieben war somit nicht unangefochten oder alternativlos, sondern bedingt durch spezifische unternehmerische Entscheidungen und technische Verbesserungen in einer Phase des Wettbewerbs verschiedener Tech-

nologien.² Diese führten zu einer stetig stärkeren unternehmerischen Ausrichtung und Kundennachfrage nach dieser Technologie, sodass eine Abkehr zu einem anderen oder die Rückkehr zu einem früheren Stadium mit hohem und mit der Zeit zunehmendem Aufwand verbunden gewesen wären (Arthur 1989: 116).

Dominanz des Automobils mit Verbrennungsmotor

Nachdem sich der Verbrennungsmotor etwa ab den 1920er Jahren als Antriebstechnologie durchgesetzt hatte, nahm dessen Dominanz wie auch des MIV stetig zu. Das Auto entwickelte sich zu einem Statussymbol und fand zunehmend Berücksichtigung bei Planung und Konzeption von Städten (Canzler/Knie 2018: 19ff.). So wurde die Stadtplanung zwischen Ende der 1920er und 1960er Jahre »immer auf das Auto als das zentrale Verkehrsmittel zugeschnitten« (Canzler/Knie 2018: 22). Maßgeblich beeinflusst wurde diese Agenda durch die Empfehlungen der »Charta von Athen« (1933), die das Ziel einer »autogerechten Stadt« propagierte, über Jahrzehnte die Stadtplanung prägte und beispielsweise durch die funktionale Trennung zwischen Wohnen, Arbeiten und Konsum längere Wege und damit den Bedarf für ein Auto erzwang (Fischedick/Grunwald 2017: 25). Dadurch entstanden im Zuge der Entscheidung für das Automobil als zentrales Element des Verkehrssektors hohe Investitions- und Fixkosten durch den Bau der entsprechenden Infrastruktur (z.B. Straßen, Parkraum) (Fischedick/Grunwald 2017: 11), die die Hemmschwelle für einen Technologiewechsel erhöhten, da bei einer Abkehr von dem eingeschlagenen Pfad bereits getätigte Investitionen verloren gewesen wären (Wetzel 2005: 8). Eng verbunden mit den in die automobile Infrastruktur getätigten Investitionen ist auch ein institutioneller »PKW-Zentrismus«, der seinen Ausdruck in der Gesetzgebung findet, da »Steuerungs- und Regelungsstrukturen im Verkehr seit Jahrzehnten auf das private Automobil ausgerichtet« (Fischedick/Grunwald 2017: 26) sind und zahlreiche Subventionen existieren. Dazu zählen etwa die steuerliche Absetzbarkeit von Berufsfahrten

² Gerade in wissensintensiven Sektoren ist es möglich, dass Technologien einen Wettbewerbsvorteil erhalten, obwohl die zukünftige Entwicklung von Technologien und Präferenzen nicht absehbar ist und diese möglicherweise langfristig nicht die effizienteste Lösung darstellen (potentielle Ineffizienz) (Pierson 2000: 253f.). Ob beispielsweise der Verbrennungsmotor zum Zeitpunkt seiner Durchsetzung und in der Phase seiner Vorherrschaft tatsächlich die fortschrittlichste Antriebstechnik war, ist umstritten (siehe z.B. Arthur 1989).

(Canzler/Knie 2018: 31f.) oder das »Dienstwagenprivileg«, das zu Steuermindereinnahmen von mehr als vier Milliarden Euro jährlich führt (FÖS 2015).

Neben dieser infrastrukturellen, stadtplanerischen und institutionellen Ausrichtung auf das Auto entwickelte sich das Netzwerk um diese Antriebstechnologie, bestehend aus parallelen Industrien (z.B. Petrochemie), spezialisierten Berufen und Forschungseinrichtungen weiter, welches auf die Bereitstellung von Komponenten für den Verbrennungsmotor sowie dessen technische Weiterentwicklung ausgerichtet ist (Cowan/Hultén 1994: 68f.; Altenburg 2014: 6). Dadurch wie auch durch die konstante technische Optimierung des PKW wurde die Pfadabhängigkeit weiter stabilisiert und die Entwicklung alternativer Technologien blockiert (Altenburg 2014: 20, Åhman/Nilsson 2008: 80; 84f.).

Insgesamt veränderte sich die Gesellschaft wesentlich in Reaktion auf das Auto, was sich in der Entwicklung von Industrien, Berufsfeldern und Städtebau, aber auch in der höheren Mobilität der Menschen widerspiegelte. Dabei stellte das Auto nicht nur ein Verkehrsmittel dar, sondern prägte auch die politische und gesellschaftliche Entwicklung (Cowan/Hultén 1994: 69) und führte zu »mentale[n] Pfadabhängigkeiten« bei der Autonutzung (Fischedick/Grunwald 2017: 26), da der Besitz eines privaten PKWs weiterhin ein zentrales Element eines guten Lebens darstellte (Canzler/Knie 2018: 58f.)³.

Wie die Entwicklungen während der Konsolidierungsphase des Automobils mit Verbrennungsmotor zeigen, erstreckten sich die pfadabhängigen Prozesse nicht nur auf den ökonomischen und technologischen Bereich, sondern auch auf die politisch-institutionelle Ebene (in Form von Gesetzgebung wie auch Verhaltensweisen). Diese Ebene ist von besonderer Bedeutung, da sich institutionelle und politische Pfadabhängigkeiten nach ihrer Etablierung durch hohe Beständigkeit und Wandlungsresistenz auszeichnen (Pierson 2000: 256), den Rahmen für technologische Entwicklungen bilden und sich Individuen und Organisationen an bestehenden Institutionen ausrichten, welche eher evolutionäre Prozesse als radikalen Wandel unterstützen (Altenburg 2014: 5; Pierson 2000: 262).

³ Exemplarisch dafür ist, dass der Motorisierungsgrad lange durch die OECD als Indikator für die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes erachtet wurde (Canzler/Knie 2018: 30f.).

Herausforderung der Dominanz und Wettbewerb

In den 1970er Jahren wurde im Zuge der Ölkrise die ausschließliche Fixierung auf den Verbrennungsmotor erstmals nennenswert in Frage gestellt, da die Nachteile der damit verbundenen Abhängigkeit von Ölimporten deutlich wurden. Daraus resultierte eine verstärkte Forschungstätigkeit im Bereich alternativer Antriebe, die allerdings keinen grundlegenden Wandel der Antriebstechnologie oder des Verkehrssektors zur Folge hatte. Stattdessen nahm der Anteil von Diesel-PKW seitdem stark zu (Statista 2018a), da der Dieselmotor eine höhere Effizienz und daher einen geringeren Kraftstoffbedarf aufweist (Canzler/Knie 2018: 48f.).

Im Zuge des verstärkten Diskurses der letzten Jahre zur Begrenzung des menschengemachten Klimawandels und der Luftverschmutzung nahmen auch die Auseinandersetzungen über die Rolle des Verkehrssektors zu. So wuchs besonders von Seiten der Zivilgesellschaft und Wissenschaft die Kritik an der Dominanz emissionsintensiver Verkehrsmittel in diesem Sektor, weswegen elektrische Fahrzeugantriebe (wieder) in den Fokus staatlichen und industriellen Handelns rückten. Bereits in den 1990er Jahren begannen Staaten mit der politischen Förderung der E-Mobilität (z.B. Kalifornien) (Cowan/Hultén 1994: 70). Entwicklungen wie die Aufdeckung des »Dieselskandals« oder zunehmende gesellschaftliche Forderungen nach einer Verkehrswende erhöhten in den letzten Jahren in Deutschland den Druck auf die Entwicklung von Alternativen zum bestehenden Pfad. Auch international wächst die Einsicht über die Notwendigkeit, die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor signifikant zu senken, wobei das E-Auto als vielversprechender Ansatzpunkt erachtet wird.⁴ Außerdem machen die Feinstaub- und Stickoxidemissionen von Verbrennungsmotoren und die daraus resultierenden Gesundheitsschäden emissionsärmere Fahrzeuge erforderlich (Altenburg 2014: 9ff.).⁵

-
- 4 Ob, wann und unter welchen Bedingungen elektrische Fahrzeuge eine bessere Klimabilanz aufweisen als solche mit Verbrennungsmotor, ist allerdings umstritten. Ebenso ungeklärt ist die Frage welche Form der E-Mobilität (batterieelektrisch oder Brennstoffzelle) sich langfristig durchsetzen wird (siehe dazu z.B. Hill et al. 2019; Fraunhofer ISE 2019; Forschungszentrum Jülich 2018).
 - 5 Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass wie bereits angesprochen auch elektrisch betriebene Fahrzeuge durch Reifenabrieb Feinstaubemissionen verursachen (UBA 2018).

Entsprechend wird die Förderung der E-Mobilität von einer Vielzahl von Staaten aktiv vorangetrieben, sei es beispielsweise durch finanzielle Anreize für den Erwerb (z.B. Deutschland, Norwegen) (VW 2019a), verbindlicher Quoten (z.B. China) (Bormann et al. 2018: 13f.), Zulassungsstopps für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ab einem bestimmten Zeitpunkt (z.B. Norwegen, Frankreich, Niederlande) oder auch durch eine Kombination von Maßnahmen. Auch Automobilhersteller reagieren auf die veränderten Rahmenbedingungen und Anforderungen und stellen ihre Forschung und Produktion zunehmend auf E-Autos um. So kündigte der weltweit größte Autohersteller Volkswagen Investitionen von über 30 Milliarden Euro im Bereich E-Mobilität bis 2023 an (VW 2019b). Alle ab 2019 eingeführten Modelle des Konkurrenten Volvo besitzen sogar nur noch reine Elektro- oder Hybridantriebe (Köllner/Schäfer 2017).

Elektrische Zukunft?

Die genannten Treiber wie auch das politische und industrielle Umdenken lassen eine Transformation des Automobilsektors hin zu elektrischen Antrieben als wahrscheinlich erscheinen. Mehrere Studien gehen von einem weiter zunehmenden Anteil der elektrisch betriebenen Fahrzeuge aus, so dass diese bis 2040 mehr als die Hälfte aller Zulassungen und knapp ein Drittel der gesamten Fahrzeugflotte darstellen könnten (BNEF 2019).

Ob sich der Elektromotor tatsächlich gegenüber dem Verbrennungsmotor und anderen Technologien durchsetzen kann, wird von verschiedenen Aspekten abhängen. So würde ein Wandel der Antriebstechnologie den Verlust von Jahrzehntelangen Investitionen in physische Infrastruktur (z.B. Tankstellen, Produktionsstätten), aber auch in Forschung und Entwicklung bedeuten. Gerade deutsche Autohersteller besitzen weltweit führende Kenntnisse im Bereich des Verbrennungsmotors und bei Getrieben sowie eine Fertigungsinfrastruktur, die eine qualitativ hochwertige, großangelegte und in Folge von Skaleneffekten auch günstigere Produktion gewährleistet. Bei der Produktion und der Expertise im Bereich alternativer Antriebe und Batterietechnologien liegen sie dagegen (noch) hinter internationalen Wettbewerbern zurück. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass lange Zeit »ein Wechsel zu anderen Technologien oder gar Geschäftsmodellen im unternehmerischen Programm von Automobilunternehmen gar nicht vorgesehen« war (Canzler/Knie 2018: 47).

Um diesen technologischen Rückstand aufzuholen, muss besonders die Expertise der deutschen Industrie im Bereich Batterietechnik deutlich ausgebaut werden, da die Batteriezellen der zentrale Baustein von batterieelektrischen Fahrzeugen und somit für Konkurrenzfähigkeit und Wertschöpfung essenziell sind (Altenburg 2014: 6)⁶. Sollten bestehende Mängel hinsichtlich Kosten, Reichweiten, Ladezeiten, Infrastruktur oder Ressourcenbedarf behoben werden, wird dies die weitere Entwicklung maßgeblich beeinflussen; denn das Entwicklungspotenzial wie auch die Spielräume zur Kostenreduktion der gegenwärtig vorherrschenden Lithium-Ionen-Technik sind begrenzt. Darüber hinaus könnte besonders das für diese Technologie benötigte Kobalt einen »Flaschenhals« darstellen, da dieses Metall zum einen rar ist und zum anderen die Förderung vielfach nicht zuverlässig gesichert werden kann (Turcheniuk et al. 2018). Konsequenterweise experimentieren daher Autohersteller bereits mit Alternativen wie der Festkörperbatterie (VW 2018). Sowohl die Bundesregierung wie auch die Europäische Union treiben die Forschung an neuen Batteriekonzepten voran (EBA 2019; BMBF 2019).

Neben dem Streben nach Klimaschutz und Luftreinhaltung ist speziell in Deutschland auch der Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der Automobilindustrie eine starke Triebkraft (VDA 2018). Die Branche ist von großer politischer Bedeutung hinsichtlich Arbeitsplätze, Steuereinnahmen und Renditen durch Unternehmensanteile. Entsprechend kann die Aufrechterhaltung bestehender und der Aufbau neuer Wettbewerbsvorteile als ein einflussreicher Treiber für die politische Förderung von E-Mobilität erachtet werden. In diesem Sinne gilt es nicht zwingend den Verbrennungsmotor zu erhalten, aber den Erfolg der deutschen Automobilindustrie im Allgemeinen.

Ebenso kann eine Umstellung auf elektrische Antriebe (besonders wenn Rohstoffe und Batterien nicht mehr importiert werden müssen) von strategischer Bedeutung sein, um Importabhängigkeiten zu reduzieren (Altenburg 2014: 9ff.). Allerdings bedarf es für die flächendeckende Durchsetzung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen nicht nur günstige und leistungsstarke Batterien, sondern auch für batterieelektrische Fahrzeuge eine entsprechende Ladeinfrastruktur, die einfach und für verschiedene Fahrzeugtypen nutzbar ist sowie einen schnellen Ladevorgang sicherstellt (VDA 2019). Um dieses

6 Das Erreichen einer internationalen Spitzenposition im Bereich batterieelektrischer Fahrzeuge ist dabei für Hersteller von größerer Bedeutung als bei Fahrzeugen mit Brennstoffzellen, da erstgenannte das mit Abstand größte Segment der Elektrofahrzeuge darstellen (VDI/VDE 2019: 13f.).

Ziel zu erreichen, wird die Errichtung von Ladesäulen durch die Bundesregierung mit mehreren 100 Millionen Euro gefördert (NPE 2019).

Sollte sich das E-Auto großflächig durchsetzen, werden außerdem nicht nur positive Effekte auf den Verkehrssektor erwartet, sondern auch auf den Energiesektor. So könnten batterieelektrische Fahrzeuge als Zwischenspeicher fungieren, um in Spitzenzeiten überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien aufzunehmen und bei Bedarf auch wieder abzugeben (BMWi 2019a). Ebenso könnte überschüssiger Strom in Wasserstoff umgewandelt und als Treibstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge genutzt werden (Forschungszentrum Jülich 2018).

Die skizzierte Entwicklung des Automobilsektors impliziert eine Reihe von Entscheidungen beziehungsweise Entscheidungsketten im technologischen, verkehrspolitischen und – nicht zuletzt – auch im gesellschaftlichen Bereich. Abhängig davon, welche Entscheidungen explizit oder implizit getroffen werden, eröffnen sich Pfade zukünftiger Entwicklungen, andere können aber auch blockiert werden. Weiterhin können auch externe Faktoren den möglichen Gang der Entwicklung beeinflussen.

Neue Mobilität – alte Pfadabhängigkeiten?

Nachdem die Geschichte der Automobilnutzung und die damit verbundenen Pfadabhängigkeiten sowie der sich abzeichnende Wandel hin zur E-Mobilität dargelegt wurden, wird in diesem Kapitel analysiert, warum die Chancen auf einen Antriebswandel zwar hoch, auf eine Abkehr von der automobilen Dominanz aber gering sind.

Das elektrische Möglichkeitsfenster

Der Automobilsektor ist von signifikanten und über Jahrzehnte stabilisierten Pfadabhängigkeiten geprägt und das Verlassen dieses Pfades ist aufgrund von ökonomischen, institutionellen und technologischen Aspekten mit großen Schwierigkeiten verbunden. Generell bedarf es für einen »Pfadwechsel« das Auftreten außerordentlicher Faktoren wie Krisen der bestehenden Technologien, Regulierung, technologische Durchbrüche, Änderungen des Geschmacks, Entstehung von Nischenmärkten oder neue wissenschaftliche Erkenntnisse (Cowan/Hultén 1994: 65). Dies ist im Transport- und besonders Automobilsektor gegeben, da die bestehende Technologie durch den »Diesel-

skandal« einen Vertrauensverlust hinnehmen musste und zudem nicht dazu in der Lage ist, die nötigen Treibhausgaseinsparungen im Verkehrsbereich zu realisieren; da staatliche Eingriffe wie strengere Regulierung (z.B. Emissionsgrenzwerte, Fahrverbote) auf der einen sowie Anreize für E-Mobilität (z.B. Kaufprämien) auf der anderen Seite die Marktentwicklung beeinflussen; und da technologische Fortschritte gerade in der Batterietechnik die Leistung von E-Autos erhöhen und die Anschaffungskosten reduzieren. Diese Entwicklungen wiederum wirken sich auf die Präferenzen der Konsument*innen aus, welche zunehmend den Kauf von Elektrofahrzeugen in Erwägung ziehen (Statista 2018b).

Zudem stellt das E-Auto auf den ersten Blick eine mit geringem Aufwand verbundene Lösung dar, da sie den politischen und institutionellen Bedürfnissen nach inkrementellen statt radikalen Änderungen entgegenkommt. So scheinen Zielvorgaben wie die Reduktion von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen möglich, ohne den Verkehrssektor grundlegend reformieren zu müssen. Dadurch bestehen allerdings viele Pfadabhängigkeiten fort und können sogar verstärkt werden (Fischedick/Grunwald 2017: 29; Åhman/Nilsson 2008: 86f.).

Weiterbestehende Pfadabhängigkeiten

Zwar findet im Falle einer Durchsetzung des Elektromotors eine Antriebswende statt, die Pfadabhängigkeiten des Automobils bleiben aber bestehen (Fischedick/Grunwald 2017: 26). So ist davon auszugehen, dass das enge Netzwerk gegenseitiger Abhängigkeiten von Autoherstellern, staatlichen Akteuren, Konsument*innen und Gewerkschaften weiterexistieren wird. Die zugrundeliegenden Interessen und Ziele erfahren keine Änderung, nur nimmt nun wahrscheinlich in Zukunft das E-Auto die Rolle ein, diese zu erfüllen. Es gilt im Wettbewerb um die Marktführerschaft eine Spitzenposition einzunehmen, um somit unternehmerische Gewinne, Steuereinnahmen, Arbeitsplätze und »günstige« private Automobilität sicherzustellen (EBA 2019).

Ebenso stellt ein reiner Austausch der Antriebstechnologie keine Herausforderung der autozentrierten Infrastruktur- und Stadtplanung dar. Die bereits darauf verwendeten Gelder müssen somit nicht als verlorene Investitionen erachtet werden. Ähnlich verhält es sich mit bestehenden staatlichen Subventionen wie der Pendlerpauschale, die unverändert Anwendbarkeit besitzt und den automobilen Pfad stabilisiert wie auch bei der Gesetzgebung, die im Verkehrssektor die automobile Mobilität favorisiert (siehe z.B. Bundesregie-

rung 2001). Auch »mentale Pfadabhängigkeiten« werden nicht grundlegend in Frage gestellt, da das individuell verfügbare Auto bei einem reinen Austausch der Antriebstechnologie fest in Lebensweise und Alltag der Menschen integriert bliebe (Haas 2018).

Pfadstabilisierung durch E-Mobilität?

Neben dem Fortbestand von automobilen Pfadabhängigkeiten (z.B. Verkehrsinfrastruktur, Produktionsstätten) existiert durch eine einseitige Fokussierung auf den Elektromotor als Antriebstechnologie das Risiko, dass dieser Pfad durch den Antriebswechsel stabilisiert und gestärkt wird, zukünftige politische oder technologische Richtungswechsel blockiert werden und elektrische Fahrzeuge somit nicht als »Brückentechnologie« hin zu einer umfassenden Mobilitätswende dienen.

So werden gegenwärtig massive Investitionen in die Forschung zu E-Autos (insbesondere Batterietechnik) getätigt wie auch in Auf- und Umbau von Produktionsanlagen zur Fertigung von Batteriezellen und elektrisch betriebenen Fahrzeugen (BMBF 2019, VW 2019b, BMWi 2019b). Zudem wird großflächig eine Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Fahrzeuge aufgebaut, um »Stromtankstellen« flächendeckend verfügbar zu machen (NPE 2019). Damit entsteht ein starker Anreiz, den elektromobilen Weg als Teil des automobilen Pfades weiter zu verfolgen (Fischedick/Grunwald 2017: 30). Für die Autohersteller und die Zulieferer kann diese Transformation zwar mit logistischem und ökonomischem Mehraufwand verbunden sein, gleichzeitig sind in diesem dynamisch wachsenden Markt aber hohe Profite, die Schaffung von Arbeitsplätzen und die Generierung von Steuereinnahmen möglich (Fischedick/Grunwald 2017: 31). Begünstigt wird dieser Wandel und die Fokussierung auf einen reinen Austausch der Antriebstechnologie durch die bisher ausschließliche Spezialisierung der Autohersteller auf die Bereitstellung von Individualmobilität (Canzler/Knie 2018: 52f.). Ist die Technologie erst fortentwickelt und sind die entsprechenden Produktionsanlagen errichtet, können infolge von Skalen- und Lerneffekten sinkende Kosten und eine konsekutiv zunehmende Verbreitung von Elektrofahrzeugen auftreten.

Die in den letzten Jahren aufgelegten umfangreichen Subventionen und Fördermaßnahmen im Bereich E-Mobilität können entscheidend zu deren Umsetzung beitragen, aber gleichzeitig den automobilen Pfad zusätzlich stärken. Weiterhin drohen Pfadabhängigkeiten durch die angestrebte Koppelung von Energie- und Verkehrswende, im Zuge derer Elektrofahrzeuge als

Zwischenspeicher fungieren sollen oder die aus Überschussstrom erzeugten Wasserstoff als Treibstoff verwenden. So könnten batterieelektrische Fahrzeuge diese Überproduktionen bei erneuerbaren Energien in Zeiten hoher Erzeugung aufnehmen und in Zeiten niedriger Erzeugung abgeben, während der in Wasserstoff umgewandelte Strom bis zur Nutzung gelagert werden könnte. Somit könnte der Netzüberlastung und Drosselung der erneuerbaren Energien Produktion in Spitzenzeiten entgegengewirkt und die Einspeisung von erneuerbaren Energien in Zeiten geringer Erzeugung erhöht werden (BMW 2019a; Fischedick/Grunwald 2017: 31). Dieser Netzwerkeffekt birgt allerdings die Gefahr, dass Elektrofahrzeuge für den Energiebereich unverzichtbar werden und damit auch die Individualmobilität, selbst wenn im Verkehrsbereich vielversprechendere Alternativen entwickelt würden.

Antriebswende statt Mobilitätsrevolution

Gesellschaftliche Herausforderungen wie Klimawandel oder Luftverschmutzung und daraus resultierende Forderungen nach emissionsärmerer Mobilität führten zu einem Umdenken in Politik und Automobilindustrie, die nun eine Antriebswende hin zu elektrischen Fahrzeugen forcieren. So scheint es keine Frage mehr zu sein, ob der Verbrennungsmotor durch eine andere Technologie abgelöst wird, sondern nur wann dies geschieht und welche Technologie sich langfristig durchsetzen wird.

Eine Abkehr vom MIV ist dagegen nicht absehbar, da die allgemeinen automobilen Pfadabhängigkeiten weiterhin stark sind und durch den Wandel zur E-Mobilität eher konserviert und gestärkt als herausgefordert werden. Institutionell fügt sich die automobile E-Mobilität in den bestehenden Pfad ein, da sie konsistent und kompatibel zu der bestehenden übergeordneten automobilen Struktur ist (David 1994: 205). Zudem kommt sie dem »Status Quo Bias« von politischen Organisationen entgegen, die inkrementellen Wandel gegenüber tiefgreifender Veränderung präferieren (Pierson 2000: 257ff.). Auch Netzwerke und Infrastrukturen können größtenteils weitergenutzt werden, sodass eine logistisch wie finanziell aufwendige Transformation vermieden werden kann. Subventionen in Forschung und Entwicklung, Investitionen in Ladeinfrastruktur und die geplante Kopplung von E-Mobilität und Energiewende stabilisieren den Pfad zusätzlich.

Auch im Mobilitätsverhalten der Bevölkerung ist keine Wende zu erkennen: die Zulassungszahlen von PKW in Deutschland steigen seit 2010 nahe-

zu konstant an (Statista 2019); der MIV hat weiterhin einen Anteil von 57 % am Verkehrsaufkommen (ein Rückgang von nur drei Prozent im Vergleich zu 2002) (infas et al. 2018: 45; infas/DLR 2010: 25); selbst in Metropolen und Großstädten bleibt der MIV das dominierende Verkehrsmittel mit einem durchschnittlichen Anteil von 38 respektive 50 Prozent (infas et al. 2018: 47), obwohl diese die Rolle als Vorreiter einer Verkehrswende weg vom MIV einnehmen sollen. Auch bei den jüngeren Bevölkerungsgruppen ist keine Trendwende weg von der PKW-Nutzung zu erkennen: PKW-Nutzung und -Besitz haben in den letzten Jahren nur geringfügig abgenommen. Allerdings ist ein Einstellungswandel bei dieser Bevölkerungsgruppe zu konstatieren im Sinne eines Statusverlustes des privaten Autobesitzes und eines zunehmenden Pragmatismus bei der Verkehrsmittelwahl, die mehr von praktischen Nutzenerwägungen bestimmt wird (Kuhnimhof et al. 2019).

Ob sich diese Situation durch die jüngst beschlossenen politischen Fördermaßnahmen wie dem Klimaschutzpaket und die damit einhergehende stärkere Förderung beispielsweise des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) oder Schienenfernverkehrs mittelfristig ändern wird, ist heute noch nicht abzusehen. Allerdings erscheint ein kurz- bis mittelfristiger Wandel unrealistisch, da das Alltagsverhalten der Menschen auf das Auto ausgerichtet ist (Fischedick/Grunwald 2017: 11). Dazu kommt der lange Wirkungshorizont von Investitionen im Verkehrsbereich: bei Fahrzeugen ca. 10 – 20 Jahre und bei der Infrastruktur 20 – 50 Jahre (Fischedick/Grunwald 2017: 8).

Ebenso wird der MIV weiterhin in der Verkehrsgesetzgebung priorisiert und andere Verkehrsmittel diesem untergeordnet. Auch Forderungen nach einem Verbot der Neuzulassung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zu einem politisch festgelegten Zeitpunkt, wie beispielsweise von Bündnis 90/Die Grünen gefordert und in anderen Staaten bereits beschlossen, würde nur zu einer Antriebswende führen ohne die automobilen Pfadabhängigkeiten herauszufordern. Politischer Wille zum Durchbrechen dieses Pfades ist allerdings nicht erkennbar. Zwar versucht eine Reihe von Städten den MIV zurückzudrängen, die Gestaltungsspielräume sind aber begrenzt. Eine auf Alternativen zur Autonutzung ausgerichtete Gesetzgebung auf nationaler Ebene ist in Deutschland nicht absehbar und auch international die Ausnahme. Als Vorbild könnte Singapur dienen, das die Zulassungszahlen von PKW

politisch beschränkt und hohe Gebühren für Neuzulassungen erhebt (LTA 2019; LTA 2017).⁷

Ausblick

Bedingt durch eine Vielzahl von Treibern zeichnet sich ein Wandel der automobilen Antriebstechnologie ab. Klimaschutzvorgaben, Gerichtsurteile zur Luftreinhaltung, gesetzliche Vorgaben in Importländern deutscher Autos und der Konkurrenzdruck durch Hersteller von elektrischen Fahrzeugen aus dem Ausland üben starken Druck auf die deutsche Politik und Industrie aus und zwingen sie zum Umdenken. Setzt sich dieser Trend weiter fort, so erscheint ein Durchbrechen der jahrzehntelangen Monopolstellung des Verbrennungsmotors möglich. Es besteht von politischer und industrieller Seite die Hoffnung, dass dieser inkrementelle Wandel sowohl Klimaschutz als auch die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft sicherstellen wird (Altenburg 2014: 23).

Dennnoch ist zu konstatieren, dass selbst bei einer Überwindung des Verbrennungsmotors die Pfadabhängigkeit des Automobils als vorherrschendes Verkehrsmittel unangetastet bleibt. Der Anteil des MIV am Verkehrsaufkommen ist unvermindert hoch und bisherige Maßnahmen zur Förderung anderer Verkehrsmittel auf Bundes- wie auch kommunaler Ebene konnten keine signifikanten Effekte erzielen. Weiterhin birgt die einseitige Fokussierung auf eine Antriebswende durch elektrisch betriebenen Individualverkehr das Risiko, Pfadabhängigkeiten durch Investitionen in Forschung, Produktion und Betankung beziehungsweise Ladung von Elektrofahrzeugen zusätzlich zu stabilisieren und alternative Entwicklungen zu blockieren. Deswegen ist eine frühzeitige Auseinandersetzung mit den Implikationen einer wirtschaftlich und politisch forcierten Förderung der E-Mobilität dringend geboten. In dem komplexen sozio-technischen System der Mobilität werden die Auswirkungen eines eingeschlagenen Pfades oftmals erst verspätet sichtbar (Fischedick/Grunwald 2017: 12; Pierson 2000: 253) und die Gefahr von »ungewollte[n] Pfadabhängigkeiten insbesondere bei Übergangstechnologien« ist hoch (Fischedick/Grunwald 2017: 25). Durch den Konkurrenzkampf um die Marktführerschaft in der E-Mobilität darf das übergeordnete Ziel

⁷ Dabei ist allerdings einschränkend festzuhalten, dass Singapur als Stadtstaat völlig andere verkehrspolitische Voraussetzungen und Möglichkeiten besitzt als Flächenstaaten wie Deutschland.

einer Mobilitätswende nicht aus den Augen verloren werden. Denn auch E-Autos verbrauchen Ressourcen, benötigen disproportional viel Fläche im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln und können das stetig wachsende Verkehrsaufkommen in den Städten nicht bewältigen.

Unabhängig von der Frage nach der zukunftsfähigsten elektromobilen Antriebstechnik machen es die verzögerte Sichtbarkeit in Verbindung mit dem langen Wirkungshorizont und dem hohen Finanzbedarf von Entscheidungen im Fahrzeug- und Infrastrukturbereich dringend erforderlich, dass Subventionierung, Forschung und Entwicklung zu Antriebs- und Mobilitätskonzepten möglichst ergebnisoffen erfolgen und Infrastrukturmaßnahmen pfadoffen sind, d.h. nicht nur einen Pfad begünstigen und damit andere blockieren. Zwar ist heute eine Abkehr von der Dominanz des MIV noch nicht absehbar und der elektrische Antrieb scheint die vielversprechendste Alternative zum Verbrennungsmotor zu sein, dennoch sollten bei der verkehrspolitischen Entscheidungsfindung alternative Pfade zum PKW-Zentrismus geprüft und ermöglicht werden.

Die Entscheidungen der Vergangenheit, sich einseitig auf einen Pfad in der Verkehrspolitik zu konzentrieren zu Lasten alternativer Ansätze, sollten sich nicht wiederholen. E-Autos besitzen das Potenzial Emissionen (zumindest im Betrieb) zu senken und damit einen positiven Beitrag zu Klimaschutz und Luftreinhaltung zu leisten. Sie aber als zentralen Lösungsbaustein gegenwärtiger verkehrspolitischer Herausforderungen zu betrachten greift zu kurz und kann eine umfassende Verkehrswende blockieren, die über die reine Optimierung des motorisierten Individualverkehrs hinausgeht.

Literatur

- Åhman, M.; Nilsson, L. (2008). Path dependency and the future of advanced vehicles and biofuels. In: *Utilities Policy*, 2(16), 80-89.
- AI (Amnesty International) (2017). *Time to recharge: Corporate action and inaction to tackle abuses in the cobalt supply chain*, London.
- Altenburg, T. (2014). *From Combustion Engines to Electric Vehicles: A Study of Technological Path Creation and Disruption in Germany*, Bonn.
- Arthur, W. (1989). Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. In: *The Economic Journal*, 99(394), 116-131.
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2019). *Dachkonzept »Forschungsfabrik Batterie«*. https://www.bmbf.de/files/BMBF_

- Dachkonzept_Forschungsfabrik_Batterie_Handout_Jan2019.pdf, zuletzt geprüft am 14.07.2019.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2019a). *Elektromobilität in Deutschland*. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/elektromobilitaet.html>, zuletzt geprüft am 29.07.2019.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2019b). *Bekanntmachung des Interessensbekundungsverfahrens zur geplanten Förderung im Bereich der industriellen Fertigung für mobile und stationäre Energiespeicher (Batteriezellfertigung)*. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/bekanntmachung-zur-geplanten-foerderung-einer-batteriezellproduktion.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 14.07.2019.
- BNEF (BloombergNEF) (2019). *Electric Vehicle Outlook*. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/#toc-download>, zuletzt geprüft am 14.07.2019.
- Bormann, R.; Fink, P.; Holzapfel, H.; Rammler, S., Sauter-Servaes, T.; Tieemann, H.; Waschke, T. und Weirauch, B. (2018). *Die Zukunft der deutschen Automobilindustrie: Transformation by Disaster oder by Design?* Berlin.
- Bundesregierung (2001). *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung*. www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvvw-bund_26012001_S3236420014.htm, zuletzt geprüft am 29.07.2019.
- Canzler, W.; Knie, A. (2018). *Taumelnde Giganten: Gelingt der Autoindustrie die Neuerfindung?* München: oekom.
- Cowan, R.; Hultén, S. (1994). Escaping lock-in: The case of the electric vehicle. In: *Technological Forecasting and Social Change*, 1(53), 61-79.
- David, P. (1994). Why are institutions the >carriers of history<? Path dependence and the evolution of conventions, organizations and institutions. In: *Structural Change and Economic Dynamics*, 2(5), 205-220.
- EBA (European Battery Alliance) (2019). *Priority Actions*. <https://www.eba250.com/actions-projects/priority-actions/>, zuletzt geprüft am 14.07.2019.
- Fischedick, M.; Grundwald, A. (2017). *Pfadabhängigkeiten in der Energiewende: Das Beispiel Mobilität*, München.
- FÖS (Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft) (2015). *Anteil gewerblicher Neuzulassungen so hoch wie nie – Dienstwagenprivileg lenkt in die falsche Richtung*. www.foes.de/pdf/2015-01-07-PM-Dienstwagen-Pkw-Markt.pdf, zuletzt geprüft am 29.07.2019.
- Forschungszentrum Jülich (2018). *Batterie oder Brennstoffzelle?* <https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/UK/DE/2018/2018-01-30-h2-mobility.html>, zuletzt geprüft am 29.07.2019.

- Fraunhofer ISE (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme) (2019). *Fraunhofer ISE vergleicht Treibhausgas-Emissionen von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen.* <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2019/fraunhofer-ise-vergleicht-treibhausgas-emissionen-von-batterie-und-brennstoffzellenfahrzeugen.html>, zuletzt geprüft am 29.07.2019.
- Haas, Tobias (2018). Das Ende des Autos, wie wir es kannten? In: PROKLA. *Zeitschrift Für Kritische Sozialwissenschaft*, 48(193), 545-559.
- Hill, G.; Heidrich, O.; Creutzig, F. und Blythe, P. (2019). The role of electric vehicles in near-term mitigation pathways and achieving the UK's carbon budget. In: *Applied Energy*, (251), 1-8.
- infas; DLR (2010). *Mobilität in Deutschland 2008.* www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/infas_MiD2008_Abschlussbericht_I.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2019.
- infas; DLR; IVT und infas 360 (2018). *Mobilität in Deutschland* (im Auftrag des BMVI). www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf, zuletzt geprüft am 01.11.2019.
- Köllner, C.; Schäfer, P. (2017). *Ab 2019 bringt Volvo neue Modelle nur noch mit Elektromotor.* <https://www.springerprofessional.de/elektrofahrzeuge-elektronomobilitaet/ab-2019-bringt-volvo-neue-modelle-nur-noch-mit-elektromotor/12903250>, zuletzt geprüft am 29.07.2019.
- Kuhnigmhof, T.; Nobis, C.; Hillmann, K.; Follmer, R. und Eggs, J. (2019). *Veränderungen im Mobilitätsverhalten zur Förderung einer nachhaltigen Mobilität*, Dessau-Roßlau.
- LTA (Land Transport Authority) (2017). *Certificate of Entitlement Quota for November 2017 to January 2018 and Vehicle Growth Rate from February 2018.* <https://www.lta.gov.sg/content/ltagov/en/newsroom/2017/10/2/certificate-of-entitlement-quota-for-november-2017-to-january-2018-and-vehicle-growth-rate-from-february-2018.html>, zuletzt geprüft am 26.11.2019.
- LTA (Land Transport Authority) (2019). *Vehicle Tax Structure.* <https://www.onemotoring.com.sg/content/onemotoring/home/buying/upfront-vehicle-costs/tax-structure.html>, zuletzt geprüft am 26.11.2019.
- NPE (Nationale Plattform Elektromobilität) (2019). *Ladeinfrastruktur.* <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/themen/ladeinfrastruktur/>, zuletzt geprüft am 29.07.2019.

- Öko-Institut (2017). *Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität: Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen*. Berlin.
- Pierson, P. (2000). Increasing Returns, Path Dependence, and the Study of Politics. In: *The American Political Science Review*, 2(94), 251-267.
- Statista (2018a). Anzahl der produzierten Pkw mit Dieselmotor in Deutschland in den Jahren 1980 bis 2017. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/469049/umfrage/produktion-von-diesel-pkw-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 29.07.2019.
- Statista (2018b). Interesse am Kauf eines Elektrofahrzeugs in Deutschland von 2016 bis 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/30361/umfrage/interesse-am-kauf-eines-elektrofahrzeugs-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 29.07.2019.
- Statista (2019). Anzahl der Neuzulassungen von Pkw in Deutschland von 1955 bis 2019. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/74433/umfrage/neuzulassungen-von-pkw-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 01.11.2019.
- Tagesspiegel (2019). Autoverband in Aufruhr. <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/provokation-von-vw-autoverband-in-aufruhr/24121642.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2019.
- Turcheniuk, K.; Bondarev, D.; Singhal, V. und Yushin, G. (2018). Ten years left to redesign lithium-ion batteries. In: *Nature*, 559(7715), 467-470.
- UBA (Umweltbundesamt) (2018). Feinstaub-Belastung. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/feinstaub-belastung#textpart-1>, zuletzt geprüft am 31.07.2019.
- VDA (Verband der Automobilindustrie) (2018). Zahlen und Daten. <https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/zahlen-und-daten-uebersicht.html>, zuletzt geprüft am 14.07.2019.
- VDA (Verband der Automobilindustrie) (2019). Elektromobilität: Ladeinfrastruktur. <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/elektromobilitaet/Ladeinfrastruktur.html>, zuletzt geprüft am 29.07.2019.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure); VDE (Verband der Elektrotechnik) (2019): Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge. <https://www.vde.com/resource/blob/1875246/3a4ac5081799af17650c62316c183eb4/studie-brennstoffzelle-data.pdf>, zuletzt geprüft am 31.07.2019.
- VW (Volkswagen) (2018). Volkswagen kooperiert mit QuantumScape und sichert sich Zugang zur Feststoffbatterie-Technologie. <https://www.volkswagenag.com>.

- com/de/news/2018/06/volkswagen-partners-with-quantumscape-.html, zuletzt geprüft am 14.07.2019.
- VW (Volkswagen) (2019a). *So funktionieren Subventionen für E-Autos weltweit.* <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2019/05/how-electric-car-incentives-around-the-world-work.html>, zuletzt geprüft am 01.11.2019.
- VW (Volkswagen) (2019b). *Volkswagen plans 22 million electric vehicles in ten years.* <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/volkswagen-plans-22-million-electric-vehicles-in-ten-years-4750>, zuletzt geprüft am 14.07.2019.
- VW (Volkswagen) (2019c). »Das Schlüsselement unserer CO₂-Strategie«. <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2019/05/the-key-element-in-our-co2-strategy.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2019.
- Wetzel, A. (2005). *Das Konzept der Pfadabhängigkeit und seine Anwendungsmöglichkeiten in der Transformationsforschung.* Berlin: Freie Universität Berlin.
- Wieland, T. (2009). *Neue Technik auf alten Pfaden?: Forschungs- und Technologiepolitik in der Bonner Republik. Eine Studie zur Pfadabhängigkeit des technischen Fortschritts.* Bielefeld: transcript.