



# Verkehrsentwicklung und Umwelt: Szenarien 2030/2040

Die VEU-Szenario-Storylines,  
Maßnahmen und Entwick-  
lungen

01.09.2016





## Dokumenteigenschaften

Titel	Verkehrsentwicklung und Umwelt: Szenarien 2030/2040
Betreff	
Institut	DLR Institut für Verkehrsforschung
Erstellt von	Stefan Seum
Beteiligte	AT, FK, FW, TT
Geprüft von	
Freigabe von	
Datum	
Version	V 4.13
Dateipfad	G:\WF_Server_neu\Projekte\PJ_laufend\VEU_IIN2-Ergebnisse\TP 1000 Szenarien\Berichte\VEU-Storylines\Finale Fassung\20160901 VEU-Storylines v4.13_final.docx

# Inhaltsverzeichnis

<b>Dokumenteigenschaften</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Die VEU-Szenarien</b> .....	<b>6</b>
2.1. Die Charakterisierung der drei VEU-Szenarien .....	6
2.2. Szenario-übergreifende Entwicklungen .....	7
2.3. Geregelter Ruck: die Energiewendegewinner .....	9
2.4. Freies Spiel: Wohlfahrt nach Marktkräften.....	16
2.5. Das Referenz-Szenario: moderate Fortsetzung der Trends .....	20

# 1. Einleitung

Mobilität ist eine Grundvoraussetzung für wirtschaftliche Entwicklung und gesellschaftliche Teilhabe. Gleichzeitig jedoch ist der aus dem Mobilitätsbedarf resultierende Verkehr Auslöser von negativen Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft. Hieraus entsteht die Herausforderung, Mobilität auch künftig zu gewährleisten und dabei die negativen Folgen von Verkehr zu minimieren. Das institutionell geförderte DLR-Projekt *Verkehrsentwicklung und Umwelt* (VEU) strebt an, ein Instrumentarium bereitzustellen, mit dem das Verkehrssystem in Deutschland in ganzer Bandbreite erfasst und analysiert werden kann.

***Ziel des VEU-Projekts ist es, verschiedene zukünftige Entwicklungspfade des Verkehrssystems<sup>1</sup> unter ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Gesichtspunkten zu analysieren. Insbesondere werden dabei die Wirkungen auf Mobilitätsverhalten und Umwelt (Lärm, Luftqualität, Wetter und Klima) untersucht. Hierzu werden gesellschaftliche Entwicklungen, politische Maßnahmen und technische Innovationen als Impulsgeber für die Veränderungen des Verkehrssystems der Zukunft identifiziert, explorative Szenarien gestaltet und mit dem VEU-Modell-Instrumentarium quantifiziert.***

Der Zielzeitraum ist das Jahr 2040. Die räumliche Dimension ist Deutschland, mit einer detaillierten Betrachtung der Mobilität in Metropolenregionen und einer weniger detaillierten Betrachtung europäischer Verkehre. Die möglichen Veränderungen des Verkehrssystems werden in drei Szenarien definiert, die sich durch verschiedene Entwicklungspfade bei technologischen Innovationen, ordnungspolitischen und fiskalischen Maßnahmen unter dem Einfluss äußerer Rahmenbedingungen ergeben.

Als Grundprinzip aller Szenarien wird angenommen, dass die aktuellen, in Deutschland und Europa bestehenden politischen Systeme fortbestehen und folglich die dargestellten Entwicklungen jeweils gesellschaftlich unterstützt werden.

---

<sup>1</sup> **Verkehrssystem:** In VEU wird *Verkehrssystem* räumlich abgegrenzt (Verkehr in Deutschland und Europa) und beinhaltet, im Sinne des DLR-Programmthemas *Verkehrssystem*, alle Möglichkeiten der Fortbewegung und des Transports, einschließlich der nicht-motorisierten Möglichkeiten.

## 2. Die VEU-Szenarien

### 2.1. Die Charakterisierung der drei VEU-Szenarien

Wie hat sich die Mobilität entwickelt? Welchen Kontext lieferten die internationalen Rahmenbedingungen? Mit welchen Maßnahmen hat die Politik das Verkehrssystem in bestimmte Bahnen gelenkt und mit welchem Erfolg? Dies soll in drei Szenarien untersucht werden: ein Szenario „geregelter Ruck“, ein Szenario „freies Spiel“ sowie einer Trendentwicklung im Referenz-Szenario.

#### ***Geregelter Ruck: die Energiewendegewinner***

**Charakterisierung:** Das Szenario geregelter Ruck bildet ein Verkehrssystem ab, das durch Steuerungs- und Entwicklungsimpulse aus Politik, Gesellschaft und Technologie besonders umwelt- und ressourcenschonend gestaltet ist. Die Politikentscheidungen bewiesen sich rückblickend als richtige Weichenstellungen angesichts der zunehmenden Verknappung fossiler Ressourcen.

#### ***Freies Spiel: Wohlfahrt nach Marktkräften***

**Charakterisierung:** Das Szenario freies Spiel zeigt eine Entwicklung des Verkehrssystems auf, die von schwacher Priorisierung des Umweltschutzes und von geringen regulatorischen Steuerungsimpulsen für mehr Umwelt- und Ressourceneffizienz im Verkehrssektor gekennzeichnet ist. Vor dem Hintergrund ausreichend verfügbarer fossiler Ressourcen erwiesen sich die Politikentscheidungen rückblickend als die logische und richtige Wahl.

#### ***Referenz-Szenario: moderate Fortsetzung der Trends***

**Charakterisierung:** Das Referenz-Szenario stellt eine Verkehrsentwicklung unter Fortschreibung der heute zu beobachtenden Trends dar, ohne dass signifikante, vom heutigen „Mainstream“ abweichende Impulse von Politik, Gesellschaft und Technologie ausgehen.

Die folgenden Darstellungen der Szenarien setzen sich aus allgemeinen, die Gesellschaft beschreibenden Abschnitten und der konkreten Ableitung von Maßnahmen und Entwicklungen zusammen. Letztere dienen auch der Festlegung von Input-Parametern für die VEU-Modelle und sind in grauen Boxen dargestellt.

Die folgenden **Szenario-Storylines sind aus der Perspektive von 2040 beschrieben**, zum einen in der Vergangenheitsform, so als wären bestimmte Entwicklungen bereits eingetreten, zum anderen in der Gegenwartsform, wenn sie die Situation im Jahr 2040 beschreiben. In allen drei Szenarien („geregelter Ruck“, „freies Spiel“ und Referenzszenario) wird von den gleichen Entwicklungen bezüglich Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt, Rohölpreis und Außenhandel aus-

gegangen, die sich an der Strukturdatenprognose zur Verflechtungsprognose der Bundesverkehrswegeplanung orientieren (BMVi 2014)<sup>2</sup>. Damit wird der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Veränderungen durch unterschiedliche technisch-strukturelle Entwicklungen gelegt und mögliche Überlagerungseffekte aufgrund von Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklungen ausgeblendet. Die für alle drei Szenarien gültigen Entwicklungen werden in Abschnitt 2.2 beschrieben. Anschließend werden die Ausgestaltungen der drei Szenarien beschrieben.

## 2.2. Szenario-übergreifende Entwicklungen

### Bevölkerungsentwicklung

Wie schon Anfang des Jahrtausends abzusehen war, ist die Bevölkerung in Deutschland in den letzten Dekaden kontinuierlich geschrumpft und die Anteile Älterer haben zugenommen. Hintergrund war eine konstant niedrige Geburtenrate, stagnierende Lebenserwartungen und ein zwar positiver Migrationssaldo, der sich ab 2021 auf ca. 100 000 Personen pro Jahr einpendelte, der jedoch den Bevölkerungsrückgang nicht kompensieren konnte.<sup>3</sup> Im Ergebnis sinkt die Bevölkerung Deutschlands in den Szenarien von über 81 Mio. im Jahr 2015 auf 76,8 Mio. im Jahr 2040.<sup>4</sup>

Der Trend der Konzentration von Bevölkerung und Kaufkraft auf Kernstädte und Metropolregionen setzte sich auch nach 2015 weiter fort. Insbesondere die Metropolregionen Hamburg/Bremen, Berlin, Köln/Bonn, Rhein-Main, Stuttgart und Raum München haben sich weiter verdichtet, wobei auch hier der Anteil älterer Menschen zunahm (Alterung von oben). Die Bevölkerung in den nord-östlichen Teilen Deutschlands, in allen ländlichen Regionen sowie in den historischen Industrieregionen hat weiter abgenommen. In diesen Regionen haben insbesondere die jüngeren Jahrgänge ab- (Alterung von unten) und in den nord-östlichen Teilen die älteren anteilig zugenommen (Alterung von oben). An der Haushaltsgrößenverteilung hat sich in den letzten 25 Jahren wenig verändert. Nach wie vor dominieren Ein- und Zweipersonen-Haushalte.

### Wirtschaftsentwicklung (Brutto-Inlandsprodukt, Ölpreis, Außenhandel)

Die Wirtschaft ist in Deutschland und in Europa moderat, aber stabil weiter gewachsen. Das Brutto-Inlandsprodukt (BIP) hat seit 2010 im Mittel um 1,14 % pro Jahr zugenommen. Der Rohölpreis ist in der langfristigen Entwicklung auf heute (2040) 125 US\$<sub>2010</sub>/b gestiegen<sup>5</sup>. Die Importe nah-

---

<sup>2</sup> Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Schlussbericht BVU/ITP/IVV/Planco im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), 11. Juni 2014.

<sup>3</sup> Zum Einfluss der aktuellen hohen Zuwanderungsrate (2015) siehe:

[https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2016/01/PD16\\_021\\_12421.html](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2016/01/PD16_021_12421.html)

<sup>4</sup> Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2015a): Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Variante 3, G1-L2-W1.

<sup>5</sup> in Anlehnung an: Prognos/EWI/GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Endbericht Projekt Nr. 57/12 Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Juni 2014

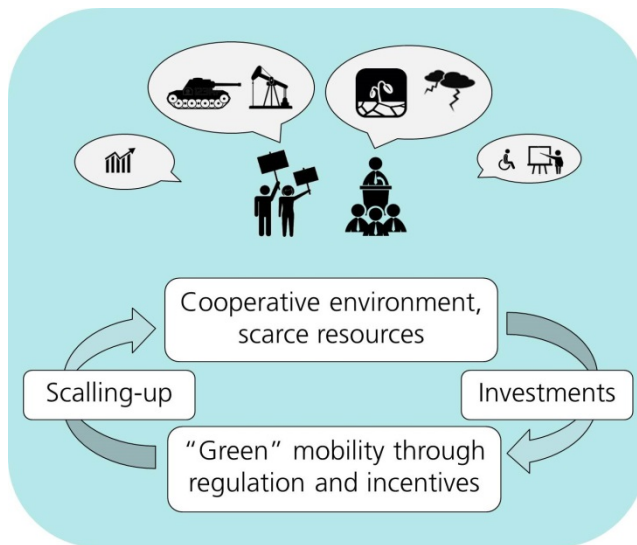
men im Mittel um 3,99 % und die Exporte um 3,63 % zu. In 2040 wurden Waren im Wert von 3,24 Mrd. € importiert und Waren im Wert von 3,40 Mrd. € exportiert. Der weltweite Handel hat ebenfalls weiter zugenommen. Dabei wird der größte Teil des deutschen Außenhandels über den Seeverkehr abgewickelt. Seit 2030 hat aber der Schienengüterverkehrs über die Seidenstraße an Bedeutung im Handel zwischen Asien-Europa gewonnen. Davon betroffen sind die Handelsgüterströme zwischen Deutschland und China sowie der Türkei. Diese Entwicklung hat auch dazu geführt, dass die mediterranen Häfen an Bedeutung gegenüber den Nordrange Häfen z.B. Hamburg, Jade-Weser und Bremen gewonnen haben, wobei sich der Jade-Weser-Port allerdings zum wichtigsten deutschen Hafen für die Anlandung von Großschiffe (mit einer TEU-Kapazität >12.000) entwickelt hat.



## 2.3. Geregelter Ruck: die Energiewendegewinner

Die globale Entwicklung der letzten Dekaden verlief, mit Ausnahme einiger Krisenregionen, wirtschaftlich und politisch vergleichsweise stabil. Die Staatengemeinschaft kooperierte zunehmend in einer von globaler „Governance“ geprägten Welt und reagierte auf die knapper werdenden fossilen Ressourcen. In diesem Kontext gelang es in Europa und anderen Schlüsselregionen, Produktion und Konsum an sozial-ökologischen Werten auszurichten.

In den Klimaschutzverhandlungen, die sich dem Paris-Abkommen von 2015 anschlossen, wurden weitreichende Übereinkünfte erzielt. Hierbei hat auch die stärkere europäische Integration, die sich auf alle politischen Bereiche bezog, beigetragen. In der Folge wurde ein globales Emissionshandels-System (ETS) eingeführt, dem sukzessive auch die Entwicklungs- und Schwellenländer sowie die Sektoren internationaler Luft- und Seeverkehr beitraten. Für die nicht am ETS teilnehmenden Verbraucher wurde ab 2020 ein Aufschlag auf die Energieträgerpreise erhoben, der sich am CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreis orientiert.



### **Globales Emissionshandelssystem schließt auch den Luftverkehr ein:**

Der Emissionshandel wurde auf globaler Ebene ab 2020 auch im Luftverkehr – sowohl auf innerstaatlichen als auch auf grenzüberschreitenden Flügen – eingeführt. Der Zertifikatspreis liegt heute (2040) bei 75 €<sub>2010</sub> pro t<sub>CO2</sub>.<sup>6</sup>

In der zweiten Hälfte der 2010er Jahre setzte sich in Europa die Erkenntnis durch, dass eine umweltfreundliche Politik nur durch schärfere Gesetze und Verordnungen erreichbar ist. Die Leitmotive Ressourcenschonung, Emissionsminderung und Internalisierung von Umweltkosten dominieren seitdem die europäische und deutsche Umwelt-, Energie- und Industriepolitik. Beispielsweise legte die Europäische Union deutlich ambitioniertere Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen vor. Die Politikentscheidungen in Deutschland waren von der Ansicht bestimmt, dass Wirtschaftswachstum, politische Stabilität und innere Sicherheit langfristig nur im Einklang mit Nachhaltigkeitszielen erreichbar sind. Dabei waren Reduktion von Treibhausgasen und die Unabhängigkeit von fossilen Energiequellen zentrale Politikziele. In der deutschen Finanz- und Steuerpolitik

<sup>6</sup> in Anlehnung an: Prognos/EWI/GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose. Endbericht Projekt Nr. 57/12 Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Juni 2014

der letzten Jahrzehnte konnten so konkurrierende Interessen gesellschaftlicher Akteure in Einklang gebracht werden.

**Höhere Energiesteuern auf fossile Treibstoffe:**

Die Bundesregierung hat sukzessive die Energiesteuern auf fossile Kraftstoffe erhöht. Darüber hinaus wurde die Bevorteilung von Dieselmotoren 2025 aufgehoben und Diesel ist heute (pro Liter) gleich besteuert wie Benzin. Hintergrund hierfür waren die im Vergleich hohen Stickoxid- und Partikelemissionen von Dieselfahrzeugen, die eine Weiterführung der Bevorteilung nicht rechtfertigten. Steuersätze für Erdgas wurden auf den Regelsteuersatz angehoben. In 2040 gelten folgende Steuersätze: Benzin (1,20 €/l), Diesel (1,20 €/l), Erdgas (31,80 €/MWh). Im Verkehr eingesetzter Wasserstoff und Strom sind von der Energiesteuer befreit.

Im Luftverkehr wurde die Luftverkehrssteuer sukzessiv erhöht. Dadurch haben sich die Ticketpreise im Luftverkehr zwischen 2015 und 2040 um durchschnittlich 2 % pro Jahr und gegenüber 2010 um ca. 64 % erhöht.

Die Energieinfrastruktur in Deutschland und Europa hat sich seit den 2010er Jahren durch den anhaltenden Ausbau von Anlagen zur Nutzung von Windkraft, Sonnenenergie und anderer erneuerbarer Energien weiter differenziert und de-karbonisiert und ist ein Beispiel, dem andere Industrienationen folgen. Deutschland ist damit auf dem richtigen Weg, denn trotz rückläufigem Bedarf an fossilen Energieträgern stiegen die Preise aufgrund von Angebotsverknappung kontinuierlich an.

Stark fluktuierende Strommengen gaben wesentliche Impulse für die Entwicklung von Puffer- und Speicherlösungen. Hierbei wurden neben dezentralen Ausgleichsoptionen auch europäische Strategien umgesetzt, z. B. beim Ausbau des Stromtransportnetzes, die den infrastrukturellen Aufwand stark mindern konnten. Große Investitionen wurden insbesondere in das Stromnetz, in die Erzeugung von synthetischen Energieträgern aus Strom (Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Power to Liquid, PtL) sowie in Puffer- und Speichertechnologien getätigt.

**Deutlich höhere Anteile erneuerbarer Energien im Stromsektor:**

Die Lernkurven für erneuerbare Energie-Technologien beschleunigten sich durch den weltweiten Ausbau. Die Investitionskosten sanken weiter und die Anlageneffizienz konnte in allen Bereichen gesteigert werden.

Der Anteil erneuerbarer Energien für die Strombereitstellung konnte auf 80 % (2040) gesteigert werden. Komplementär zum Ausbau von Windkraft und Photovoltaik wurde gleichzeitig sichergestellt, dass auch ein möglichst hoher Anteil regelbarer erneuerbarer Kraftwerke (z. B. Biomasseverstromung, Geothermie und Importe) zur Verfügung steht. Somit liegt der Anteil der fluktuierenden Erzeuger bei etwa 60 %. Speichertechnologien und intelligente Lösungen zur Kopplung des Verkehrssektors mit dem Stromsektor zum

Lastausgleich haben ein hohes Niveau erreicht. Smart-Grids sind flächendeckend realisiert, was die Kopplung der Sektoren Strom, Verkehr und Wärme/Gas (auch H<sub>2</sub>) ermöglicht.

Der hohe Zubau bei der erneuerbaren Stromerzeugung sowie die hohe Steuerbarkeit der Stromnutzung konnten eine vollständige Deckung des Strom- und Wasserstoffbedarfs aus Mobilitätsanwendungen mit erneuerbaren Energien gewährleisten.

**Regenerativer Wasserstoff liefert erneuerbaren Kraftstoff aus Ökostrom; Biokraftstoffe der 2. Generation sind marktfähig:**

Die Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Quellen sind heute gekoppelt mit Verfahren zur Herstellung von synthetischen Energieträgern (Wasserstoff (H<sub>2</sub>), synthetisches Methan oder PtL). Biokraftstoffe der 1. Generation werden seit 2030 nicht mehr für bodengebundene Verkehre eingesetzt. Durch die Fortschritte bei der Herstellung von Biokraftstoffen der 2. Generation aus heimischen lignozellulosehaltigen Rohstoffen und Abfallstoffen sind Biomass to Liquid-Kraftstoffe (BtL) am Markt. Nach einer Beimischungsquote von 6 % im Jahr 2010, die in eine Treibhausgasminderungsquote von 3,5 % überführt wurde, haben BtL und PtL eine Treibhausgasminderungsquote der Treibstoffe von 10 % ab 2030 ermöglicht.

Im Luftverkehr wurden im Jahr 2030 10 % Bio-Kerosin (Bio-Diesel der 1. Generation) eingesetzt. Durch die technologischen Fortschritte wurde diese Quote bis 2040 durch zusätzlich 20 % PtL im Luftverkehr ergänzt.

Zunehmend seit den 2020er Jahren hat sich die deutsche Regierung für eine Politik der konsequenten Förderung nachhaltiger Energie- und Mobilitätssysteme entschlossen, auch um eine weitgehende Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern zu erreichen. Kern dieser Politik sind steuerlich finanzierte Anreize, um die Entwicklung, die Akzeptanz und auch die Marktintegration neuer Technologien zu fördern, die einen Beitrag zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten. So wurden in den 2020er und 2030er Jahren nationale Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität wie Kaufanreize, Parkraumkonzepte und Ladeinfrastrukturen umgesetzt. Die Ziele der Energiewende wurden gestärkt. Der Wettbewerbsvorteil Deutschlands wird in der Vorreiterrolle für innovative Energie- und Mobilitätslösungen gesehen.

**Kostendegression bei neuen Technologien und breite Akzeptanz:**

Durch diese Politikausrichtung konnten die Kostenreduktionen bei der Entwicklung alternativer Antriebe deutlich beschleunigt werden. Dies ist gepaart mit einer vergleichsweise hohen „willingness to pay“ der Verbraucher für innovative Technologien. Somit haben sich die Rahmenbedingungen für die Markteinführung neuer Fahrzeugkonzepte, wie insbesondere batterieelektrisch oder mit Wasserstoffbrennstoffzellen angetriebene Fahrzeuge, kontinuierlich verbessert. Neue Konzepte für Leichtbau und effiziente Hybridbauweisen wurden für die bodengebundenen Verkehre entwickelt und in serientauglichen Stra-

ßen- und Schienenfahrzeugen umgesetzt. In der Luftfahrt konnten, neben den weiterhin klar dominierenden Strahltriebwerken, in Kleinflugzeugen strombasierte Antriebe unter Verwendung von Energien aus erneuerbaren Quellen eingeführt werden.

Der Erhalt und die Förderung einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur erlangte nach 2017 Priorität. Durch die Umstrukturierung und Bereitstellung zusätzlicher Finanzmittel (z. B. durch die Umstellung auf eine Nutzerfinanzierung) wurde ein nachfrageorientierter Ausbau unter Berücksichtigung von Umweltgesichtspunkten vorgenommen.

#### **Verkehrsinfrastruktur - Schwerpunkt auf Ausbau der Schienenverkehrsinfrastruktur:**

Neben der Umsetzung der bereits im 2015er Bundesverkehrswegeplan (BVWP) finanziell gesicherten Maßnahmen wurden bis 2030 alle Schienenverkehrsmaßnahmen aus dem vordringlichen Bedarf sowie einige ausgewählte Maßnahmen des weiteren Bedarfs der BVWP 2015 realisiert. Für die Straßeninfrastruktur erfolgten im überörtlichen Bereich keine weiteren Neubau-, sondern ausschließlich Ausbaumaßnahmen.

Auf Autobahnen wurde bereits 2030 eine entfernungsabhängige Maut (unabhängig vom Antrieb) für Pkw und Bus eingeführt. Für Lkw wurden die Mautsätze angehoben. Auf Autobahnen wurde ein generelles Tempolimit von 130 km/h eingeführt.

Im deutschen Luftverkehr wurden kleinere Flughäfen geschlossen. Deutschlandweit wurden Nachtflugeinschränkungen umgesetzt.

Als Resultat der konsequenten Orientierung an ökologischen Zielen wurden strenge Grenzwerte beispielsweise für Lärm, Schadstoffe und Energieverbrauch für alle Verkehrsmodi erlassen. Es wurden Maßnahmen ergriffen, die den Besitz und die Nutzung von energie-intensiven Fahrzeugen unattraktiv machen. Zur Förderung der Energieeffizienz sowie von Elektromobilität und alternativen Antrieben wurde eine konsequente CO<sub>2</sub>-basierte Kfz-Besteuerung eingeführt. Die EU-weiten Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (LNF) wurden verschärft. Im Güterverkehr wurde das Lkw-Pooling zur Verminderung von Leerfahrten realisiert.

#### **Die strengeren Emissionsgrenzwerte im Verkehrssektor:**

Die im Jahr 2009 erlassenen Flottengrenzwerte für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Pkw wurden sukzessive verschärft. Zunächst wurde ab 2021 eine Umstellung des Typprüfzyklus (ehemals NEFZ) auf den WLTC (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle) vorgenommen. Zusätzlich wurde die Berechnung von lediglich direkten Emissionen (Tank-to-Wheel TTW) auf Well-to-Wheel (WTW) Emissionen ab 2021 umgestellt. Zusammenfassend galt für Pkw für das Jahr 2030 ein WTW-Grenzwert von 60 g/km, für 2040 gilt ein Grenzwert von 45 g/km (ausgehend von 130 g/km TTW (NEFZ) in 2015 und 95 g/km TTW in 2021 (WLTC)). Damit wurde insbesondere für die Elektrifizierung der Mobilität ein deutlicher Anreiz geschaffen.

Im Luftverkehr wurden 2020 für alle neu ausgelieferten Flugzeuge ein gewichtsklassen-abhängiger CO<sub>2</sub>-Standard (nach ICAO/CAEP) verpflichtend eingeführt. Zudem sorgte die Einführung einer Abwrackprämie ab 2025 dafür, dass Luftfahrzeuge mit sehr hohem spezifischen Treibstoffverbrauch schneller ausgemustert wurden. Dies führte zu einer beschleunigten Modernisierung der europäischen Luftfahrzeugflotte.

#### **Innovation und Regulierung im Güterfernverkehr:**

Zero-Emission-Fahrzeuge sind das Ziel und der erwartete Standard für alle Transportfahrzeuge in Europa. Konventionell angetriebene Fahrzeuge werden mit einem Malus (Steuer und Maut) belastet, damit deren Transportkosten deutlich höher sind als die der Zero-Emission-Fahrzeuge. Aus den Einnahmen von Maut und Steuern werden u.a. die Oberleitungen auf Autobahnen und die Infrastruktur für die Bereitstellung erneuerbarer Kraftstoffe (z.B. H<sub>2</sub>) an Tankstellen gefördert; langfristig sind auch Transitverkehre nur noch mit Zero-Emission-Fahrzeugen auf Autobahnen in Deutschland zugelassen. Die Hersteller bieten ab 12 t zGG Oberleitungs-Hybrid-Lkw an.

Aus regionalpolitischen und umweltpolitischen Erwägungen heraus wurden die Mittel zur Finanzierung des öffentlichen Personen-Nahverkehrs (ÖPNV) ab 2018 stark angehoben und die Anschlussfinanzierung der Regionalisierungs- und Entflechtungsmittel nach 2020 nochmals gestärkt. Die Streckennetze von ÖPNV und schienengebundenem Personenfernverkehr (SPFV) wurden ausgebaut und die Elektrifizierung des Netzes weitgehend abgeschlossen.

Durch neue Finanzierungskonzepte und eine strikte Trennung von Netz und Betrieb im Schienenverkehr konnten einige Kosteneffizienzsteigerungen im Schienenverkehr erreicht werden. Angebotsverbesserungen (Taktausweitungen, Komfort, Bevorrechtigung des ÖPNV) wurden für den gesamten ÖPNV flächendeckend durchgeführt.

Der SPFV profitiert wie der Nahverkehr vom Ausbau der Schieneninfrastruktur, was zu Beschleunigungen führt. Im Fernverkehr herrscht jedoch eigenwirtschaftlicher Betrieb ohne Subventionierung. Zur Förderung des Verkehrsträgers Schiene wird der Mehrwertsteuersatz von 19 % auf 7 % reduziert, zudem konnte durch eine Neuregulierung der Infrastrukturfinanzierung der Trassenpreis halbiert werden. Daneben haben sich aber auch die Fernbusse im Markt etabliert. Der reduzierte Mehrwertsteuersatz gilt auch für Busse sowie weiterhin im ÖPNV.

#### **Attraktivitätssteigerung im öffentlichen Personenfernverkehr (ohne Luftverkehr):**

Im Öffentlichen Personenfernverkehr herrscht großer Kostendruck aufgrund der Konkurrenz zwischen Schiene und Fernbussen. Aufgrund der neuen Trassenpreisregelung und vor allem der Mehrwertsteuerreduzierung blieben die Kosten seit 2010 real konstant. Aufgrund des Schienennetzausbaus und Takterhöhungen reduzierten sich die Reisezeiten im SPFV hingegen um 10% (2030) und 20% (2040) gegenüber dem Jahr 2010. Die Rei-

sezeiten der Busse blieben konstant. Durch die Attraktivitätssteigerungen stieg die Auslastung der IC/EC Züge von 42% in 2010 auf 66% in 2040 und die der ICE Zügen von 49% in 2010 auf 59 % in 2040. Entsprechend sank der Energieverbrauch pro Personen-Kilometer.

#### **Beschleunigung und Attraktivitätssteigerung von ÖPNV:**

Während sich der MIV verteuerte, sanken über die Jahre die Reisekosten im ÖPNV um 1 % p. a. Zudem konnten innerhalb der Metropolenregionen die Reisezeiten bis 2030 um 10 % und bis 2040 um 20 % gegenüber 2010 gesenkt werden. Auf allen weiteren Relationen sanken die Reisezeiten bis 2030 um 5 % und bis 2040 um 10 % gegenüber 2010.

Neben der Zunahme von ÖPNV-Zeitkarten aufgrund von dem Rückgang privater Pkw in Haushalten stieg der Zeitkartenbesitz durch Förderprogramme wie Jobtickets und Seniorentickets um weitere 15 % an.

Die Auslastung von RE, RB und IRE Zügen stieg von 23% in 2010 auf 30% in 2040 an, was den Energieverbrauch pro Personen-Kilometer entsprechend senken ließ.

Ziel war es, den motorisierten Individualverkehr im Stadtraum zurückzudrängen. Hierzu wurde dem ÖPNV durch städtebauliche und verkehrliche Maßnahmen Vorrang eingeräumt. Der öffentliche Verkehr wurde ausgebaut und in seiner Attraktivität gesteigert, die Infrastrukturen wurden für Fußgänger und Radfahrer umgebaut. Straßen- und Parkräume wurden zugunsten von mehr Raum für Fußgänger und Fahrradfahrer eingeschränkt und Parkgebühren insbesondere für einpendelnde Fahrzeuge stark angehoben. Um dem Pedelec-Boom gerecht zu werden, wurden vielerorts Fahrspuren in sogenannte Fahrrad-Highways umgebaut. Es wurde massiv in Infrastrukturen an den Knotenpunkten Fuß-Rad-ÖPNV investiert.

#### **Vorrang dem Fahrrad in Städten; Parkraum für MIV eingeschränkt:**

Vor dem Hintergrund zunehmender Nutzung von Elektrofahrrädern hat sich insbesondere durch den Ausbau von Fahrradinfrastrukturen die Reisegeschwindigkeit des Fahrradverkehrs in Städten deutlich erhöht. Im Durchschnitt ist diese bis 2040 um rund 17 % schneller als 2010, wobei sich individuell deutliche Unterschiede zeigen. Damit gewann das Fahrrad gegenüber anderen Verkehrsmitteln an Attraktivität.

Der Parkraum wurde in Städten eingeschränkt, was zu einer Erhöhung der Zu- und Abgangszeiten für die Pkw-Nutzung führt (z. B. bis zu +5 Min. für innerstädtische Fahrten). Gleichzeitig wurden flächendeckend höhere Parkgebühren eingeführt (bis zu 200% gegenüber dem Basisjahr 2010).

Als Alternative zum MIV mit eigenen Fahrzeugen wurden flexible Angebote wie Car-Sharing und öffentliche Leihfahrräder gefördert. Ebenfalls wurden umfassend und standardisierte Ladeinfrastrukturen umgesetzt, sodass seit 2030 das Laden von E-Autos kein Hindernis darstellt.

**Verschärfte Maßnahmen in den Umweltzonen der Städte:**

Um insbesondere die lokale Luftqualität und Verkehrssicherheit zu verbessern, wurden in städtischen Umweltzonen folgende Maßnahmen umgesetzt:

Seit 2030 wurde Tempo 30 km/h als Regelgeschwindigkeit in Umweltzonen eingeführt.

Parkgebühren für Arbeitspendler in die Umweltzonen wurden stark verteuert, um bei Alltagsverkehren ein Umsteigen auf ÖPNV und Rad zu fördern.

Alle Busse im ÖPNV der Umweltzonen wurden auf elektrische Antriebe umgerüstet.

Busse und Bahnen wurden durch Verkehrsmanagementmaßnahmen gegenüber dem MIV beschleunigt.

Güter dürfen in Umweltzonen nur mit Lkw und Lieferwagen mit alternativen Antrieben (H<sub>2</sub> oder elektrisch) oder mit Lastenfahrrädern transportiert werden. Viele Städte erheben eine Maut für die Einfahrt von Lieferfahrzeugen, die nicht als Zero-Emission-Fahrzeuge eingestuft sind.

**Rückgang des privaten Fahrzeugbestandes und mehr kleinere Fahrzeuge:**

Die Konsequenz der einzelnen Maßnahmen, insbesondere solcher, die den MIV unattraktiver machten (Kostensteigerung, Parkraumbewirtschaftung, Car-Sharing etc.) und den ÖPNV, Fuß- und Radverkehr stärkten, haben zu einem Rückgang des Gesamtfahrzeugbestandes geführt.

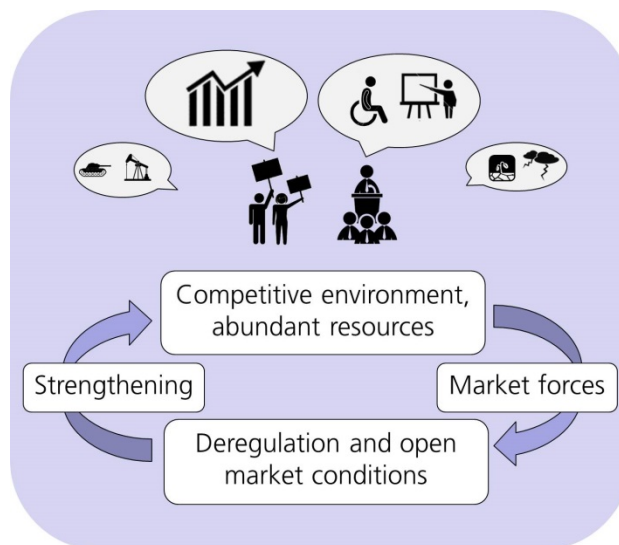
Neben Trends zum Downsizing, insbesondere im bei mittelgroßen Fahrzeugen, werden zudem verstärkt kleinere Fahrzeuge im MIV zugelassen. Im Jahr 2040 machen die Fahrzeuggrößen<sup>7</sup> klein (S) 45 %, mittel (M) 48 % und groß (L) lediglich 7 % aus.

---

<sup>7</sup> Fahrzeuggrößenklassen nach KBA Segment: S = Minis und Kleinwagen; M = Kompaktklasse, Mittelklasse, SUV und Mini-Vans; L = Obere Mittelklasse, Oberklasse, Geländewagen, Sportwagen und Großraum-Vans. Utilities und Wohnmobile sind als Pkw nicht berücksichtigt.

## 2.4. Freies Spiel: Wohlfahrt nach Marktkräften

In den Folgeverhandlungen nach dem Klimaschutzabkommen von Paris in 2015 konnten sich die Staaten nicht auf ambitionierte und verpflichtende Maßnahmen und Reduktionsziele einigen. In der Folge brach auch der europäische Emissionshandel ein. Die Staaten der Welt grenzen sich stärker voneinander ab und auch in Europa ist eine stärkere nationale Ausrichtung spürbar. Bestehende Klimaschutzpolitiken wurden nicht verschärft und die fehlenden internationalen Übereinkommen fielen als Antreiber für die Umsetzung von Nachhaltigkeitspolitiken aus. Fossile Ener-



gieträger stehen weiterhin in ausreichenden Mengen zur Verfügung und konnten den steigenden globalen Bedarf decken, ohne dass es zu signifikanten Preissprüngen gekommen ist.

In den 2020er und 2030er Jahren wurden in der deutschen Politik wirtschaftliche Interessen gegenüber vormaligen Umweltzielen priorisiert, zumal aufgrund der preiswert vorhandenen fossilen Energien sich der Wandel zu alternativen Technologien nicht durchsetzen ließ. Auf Bundesebene wurde die Förderung alternativer Technologien zugunsten der Stärkung bestehender Strukturen zurückgestellt. Als Konsequenz wurden Gesetze und Regelungen aufgegeben bzw. vermieden, die vermeintlich die Wettbewerbsfähigkeit des Standortes Deutschland (bspw. strenge Effizienzkriterien, Decarbonisierung) oder die Haushaltseinnahmen des Staates (durch sinkende Steuereinnahmen) gefährden könnten.

### **Angleichung von Steuersätzen für alle Energieträger:**

Für mobile Anwendungen wurden die Bevorteilung von Erdgas, Wasserstoff und Elektrizität abgeschafft. Die Besteuerung für Benzin und Diesel sind nicht geändert worden. In 2040 gelten folgende Steuersätze: Benzin (65,45 €<sub>C2010</sub>/l), Diesel (47,04 €<sub>C2010</sub>/l), Die Besteuerung für Erdgas, Wasserstoff und Strom wurde auf 7,25 €<sub>C2010</sub>/kWh festgelegt (gleiche Steuer pro MJ wie das Benzin).

Die Wettbewerbsfähigkeit von alternativen Technologien zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, wurde weitgehend den Marktkräften überlassen, nachdem die Förderung durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) beendet wurde. Aufgrund steigender Systemkosten bei der Integration erneuerbarer Energiequellen in das Energiesystem und vergleichsweise niedriger Kosten der fossilen Stromerzeugung wurden die ursprünglichen bundespolitischen Ziele zum Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung deutlich abgeschwächt.



**Der deutsche und europäische Energiemix bleiben konventionell:**

Bei gleichzeitig geringen Kostensteigerungen der fossilen Stromerzeugung blieben die Investitionskosten für erneuerbare Energie-Technologien relativ hoch und deren Entwicklung stagnierte.

Aus diesem Grund konnte der Anteil erneuerbarer Energien für die Strombereitstellung lediglich auf 40 % (2040) gesteigert werden. Ein gleicher Anteil ist auch für Stromnutzung bei mobilen Anwendungen anzurechnen. Die erneuerbaren Energien betten sich dabei in einen fossilen Kraftwerkspark ein, der sich von der Struktur in 2010, beispielsweise im Hinblick auf den Betrieb von Grundlastkraftwerken und Energiespeichern, wenig unterscheidet.

Neue Speichertechnologien und intelligente Kopplungen des Verkehrssektors mit dem Energiesektor (Smart-Grids) zum Lastausgleich konnten nur sehr eingeschränkt implementiert werden. Der Anteil der Elektrofahrzeuge mit Lademanagement ist entsprechend niedrig.

**Biokraftstoffe der 1. Generation dominieren; Keine synthetischen Energieträger aus Strom:**

Im Bereich der Biokraftstoffe stehen auch im Jahr 2040 nur solche der 1. Generation zur Verfügung. Die Beimischungsquote von 6 % wurde 2017 in eine Treibhausgasquote von 3,5 % umgewandelt und ist seit dem eingefroren.

Im Luftverkehr wird zu 100 % fossiles Kerosin eingesetzt.

Synthetische Energieträger aus Strom (Wasserstoff, synthetisches Methan und PtL) wurden von der Politik nicht gefördert und haben bislang keinen nennenswerten Beitrag zur Kraft- und Treibstoffversorgung geliefert.

Trotz der Zielformulierung der Bundesregierung der 2010er Jahre, hohe Marktanteile für die Elektromobilität zu erreichen, wurden nach 2018 keine durchgreifenden nationalen Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität umgesetzt. Die Entwicklung von innovativen Technologien und Mobilitätslösungen orientiert sich an den heutigen grundlegenden Strukturen in allen Verkehrsbereichen. Entsprechend konnten vielversprechende Konzepte wie innovative elektrische Antriebe und Brennstoffzellenfahrzeuge nicht oder nur für Nischenanwendungen umgesetzt werden. Der Verbrennungsmotor bleibt der dominierende Antrieb im Straßenverkehr. Emissionsgrenzwerte wurden entsprechend auf das Mögliche mit konventionellen Antrieben abgeschwächt.

**Auslaufen von Förderprogrammen für alternative Antriebe, konventionelle Konzepte dominieren:**

Die technischen Ziele bei der Entwicklung und beim Einsatz alternativer Antriebe konnten größtenteils nicht erreicht werden, ihr Einsatzpotential und ihre Kostenentwicklung prädestinieren sie deshalb eher für Nischenbereiche. Bis 2030 waren alle Förderprogramme

für alternative Antriebe, insbesondere zur Elektromobilität und Wasserstoffnutzung aus-  
gelaufen. Durch diese Politikausrichtung verlangsamten sich die Kostenreduktionen bei  
der Entwicklung alternativer Antriebe. Die Rahmenbedingungen für die Markteinführung  
von batterieelektrischen oder mit Wasserstoff betriebenen Fahrzeugen haben sich in der  
Folge nicht verbessert. Die „willingness to pay“ der Verbraucher für innovative Technolo-  
gien ist schwach. Den Fahrzeugkäufern steht eine große Angebotspalette mit überwie-  
gend konventionellen Antrieben gegenüber.

#### **Emissionsgrenzwerte im Verkehrssektor:**

Die Flottengrenzwerte für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Pkw wurden nach 2020 nicht weiter  
verschärft, sondern blieben auf 95 gCO<sub>2</sub>/km Tank-to-Wheel eingefroren. Im Hinblick auf  
NO<sub>x</sub>, VOC und PM wurden die Abgastechnologien und Grenzwerte sukzessive weiter  
entwickelt, wobei sich eine Grenze des technisch machbaren abzeichnet.

#### **Fokus der Politik auf Ausbau von Straßenverkehrsinfrastruktur und Flughäfen:**

Der Erhalt und der Ausbau der nationalen Verkehrsinfrastruktur wurde in den 2020er  
und 2030er Jahren mit einem Fokus auf die Straßen- und Luftverkehrsinfrastruktur, ver-  
folgt. Neben der Umsetzung der bereits im 2015er BVWP finanziell gesicherten Maß-  
nahmen wurden bis 2030 alle Straßenverkehrsmaßnahmen aus dem vordringlichen Be-  
darf der BVWP 2015 realisiert.

Darüber hinaus wurde im deutschen Luftverkehr die Kapazität an den Flughäfen im Vor-  
griff auf eine steigende Nachfrage ausgebaut bzw. erweitert, z. B. an den Flughäfen  
München, Berlin und Düsseldorf, sodass keine infrastruktur-bedingten Engpässen im  
Luftverkehr existieren.

#### **Maßnahmen im Güterverkehr:**

Durch die Einführung der Giga-Liner konnten die Kosten des Straßengüterverkehrs um  
15-20 % gesenkt werden. Gleichzeitig wird auf Autobahnen in Deutschland eine kos-  
tenorientierte Nutzungsgebühr eingeführt. Durch diese Finanzierung kann die Straßeninf-  
rastruktur nachfrageorientiert ausgebaut werden.

Aufgrund finanzpolitischer Entscheidungen in den 2010er und 2020er Jahren (Schuldenbremse,  
Kürzungen der ÖV-Subventionen etc.) wurde der ÖPNV bis 2040 stark zurückgefahren. Da die  
Nutzerfinanzierung aus Schüler- und Ausbildungsverkehren ebenfalls stark zurückging, entwickel-  
te sich die Finanzausstattung des ÖPNV zunehmend prekär und es kam ab 2020 zu einer Kon-  
zentration auf hoch ausgelastete Linien. Weniger frequentierte Strecken wurden ausgedünnt  
oder eingestellt. Dies wirkte sich auch auf den ÖPNV in Städten aus. In Kernstädten, wo der  
ÖPNV noch auf höhere Einnahmen aus dem Fahrscheinverkauf zurückgreifen kann, wurde ein  
hohes Serviceangebot aufrecht erhalten. Trotzdem konnten auch die wachsenden und sich ver-  
dichtenden Metropolen-Regionen, aufgrund der angespannten kommunalen Haushaltslagen,

nicht in angemessener Weise mit Infrastrukturinvestitionen reagieren. Als Konsequenz weist die Versorgung insbesondere von städtischen Randgebieten mit öffentlichem Verkehr zunehmend Schwächen auf und das private Auto bleibt für viele ein notwendiges Verkehrsmittel. Für eine breite Nutzung für alltägliche Wege mangelt es dem ÖV an Zuverlässigkeit und (gefühlter) persönlicher Sicherheit. Dadurch kam es zu einer Renaissance des privaten Pkw und anderer individueller Micro-Mobilitäts-Lösungen. Einschränkung des MIV in urbanen Räumen, durch beispielsweise verminderte Regelgeschwindigkeiten oder Parkraumverknappung, konnten sich nicht durchsetzen. Durch die dominierende Rolle des MIV im Stadtgebiet und ausbleibende Investitionen werden auch Fahrrad und Wege zu Fuß nicht als sichere und attraktive Fortbewegungsmöglichkeiten wahrgenommen.

**Verlangsamung und Attraktivitätsabfall von SPV und ÖPNV:**

Durch den Attraktivitätsabfall sank die Auslastung der IC/EC Züge, nach zwischenzeitlichem Anstieg, von 42% in 2010 auf 41% in 2040 und die der ICE Zügen von 49% in 2010 auf 41 % in 2040. Entsprechend stieg der Energieverbrauch pro Personen-Kilometer an.

Fehlende Investitionen in die Infrastruktur des ÖPNV drücken sich in 2040 in höheren Reisezeiten und Reisekosten aus. Die Reisezeiten im ÖPNV erhöhten sich um bis zu 30 %, wobei der ÖV in Kernstädten lediglich um 10 % höhere Reisezeiten gegenüber 2010 aufweist. Die Reisekosten im ÖV stiegen um 2 % p.a. Die Auslastung der RE, RB und IRE Züge fiel von 23% in 2010 auf 20% in 2040, was einen Anstieg des Energieverbrauchs pro Personen-Kilometer zur Folge hatte.

**Kein Rückgang des privaten Fahrzeugbestandes und mehr größere Fahrzeuge:**

Insbesondere die abnehmende Attraktivität von ÖPNV und Rad hat zu einem Zuwachs des Gesamtfahrzeugbestandes geführt.

Zwar gibt es in den letzten Dekaden einen Trend zum Motoren-Downsizing, jedoch blieb der Trend zu schwereren Autos, zu mehr Leistung und zu Geländewagen, SUVs und Vans ungebrochen. Die Fahrzeuggrößenklassen haben sich gegenüber der Referenz nach mittel (M) und groß (L) verschoben. Im Jahr 2040 machen die Fahrzeuggrößen klein (S) 31 %, M 50 % und L 19 % aus.

## 2.5. Das Referenz-Szenario: moderate Fortsetzung der Trends

Im Referenz-Szenario sind im Wesentlichen die globalen Produktions- und Konsummuster seit der Jahrtausendwende erhalten geblieben. Der Globalisierungstrend in der Wirtschaft setzte sich ebenso fort wie die Verschiebung der Wirtschaftsleistung in Deutschland vom primären und sekundären Sektor zum tertiären Sektor.

Trotz der internationalen Klimaschutzvereinbarungen von Paris im Jahr 2015 wurden die internationalen Instrumente zum Klimaschutz nicht konsequent weiterentwickelt. Das europäische Emissionshandelssystem entfaltete zwar wieder zunehmend seine Wirksamkeit, ein globales Emissionshandelssystem kam jedoch nicht zustande.

**Der Luftverkehr wird in das Intra-Europäische Emissionshandelssystem integriert:**

Auch wenn international der Emissionshandel kein Steuerungsinstrument darstellt, wird das inner-europäische Zertifikate-System weitergeführt. Hierbei wurde auch der Luftverkehr in den Intra-EU-Zertifikatehandel einbezogen. Die Zertifikatepreise liegen im Jahr 2040 bei 60 €<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub>.<sup>8</sup>

Die nationalen und europäischen Leit motive des Umwelt- und Klimaschutzes hatten nach 2015 im Grundsatz Bestand, gewannen jedoch in der Politikgestaltung gegenüber Aspekten wie Wirtschaftswachstum und innere Sicherheit keine dominante Position. In der deutschen Finanz- und Steuerpolitik der letzten Jahrzehnte spiegelten sich die konkurrierenden Interessen unterschiedlicher gesellschaftlicher Akteure wieder. Politikziele zur Reduktion von klimawirksamen Gasen hatten zwar weiterhin Bestand, wurden jedoch in Konkurrenz zu anderen Zielen nicht konsequent durchgesetzt. Die Politikentscheidungen gaben nur moderate Impulse beispielsweise im Hinblick auf Effizienzsteigerungen und Emissionsminderungen im Verkehrssystem.

**Fortführung der Kraftstoffsteuerregime:**

Die unterschiedliche Besteuerung der Kraftstoffe wurde fortgeführt. Im Jahr 2040 gelten folgende Steuersätze (pro Liter bzw. MWh): Benzin (65,45 €<sub>2010</sub>/l), Diesel (47,04 €<sub>2010</sub>/l), Erdgas (13,90 €<sub>2010</sub>/MWh). Wasserstoff und Strom sind von der Energiesteuer befreit. Im Luftverkehr wurden die Abgaben und flughafenseitigen Kosten auf dem Niveau von 2010 gehalten.

<sup>8</sup> in Anlehnung an: Prognos/EWI/GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Endbericht Projekt Nr. 57/12 Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Juni 2014.

Trotz eines moderaten Ausbaus erneuerbarer Energien in den letzten Dekaden blieben die wesentlichen Energieproduktions- und -verbrauchsstrukturen erhalten, wobei sich die Effizienz der Verbrennungsmotoren weiter verbessert hat. Die Energieversorgung ist heute dezentraler als noch 2010 und machte Investitionen in die Übertragungs- und Verteilnetze sowie in Puffer- und Speicherlösungen notwendig.

**Moderate Durchdringung von erneuerbaren Energien:**

Moderate Fördermaßnahmen führten zu mittleren Investitionskosten und einer mittleren Technologie- und Marktentwicklung bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Der Trend zu Wind- und PV-Strom setzte sich fort und auch der Umbau der fossilen Stromerzeugung hin zu mehr flexiblen Back-Up-Kraftwerken basierend auf Gas und wenigen Grundlastkraftwerken basierend auf Kohle wurde durch die Setzung entsprechender Rahmenbedingungen im Energiemarkt vorangebracht. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Strombereitstellung konnte auf 60 % (2040) gesteigert werden. Speichertechnologien und intelligente Kopplungen zwischen Strom- und Verkehrssektor zum Lastausgleich haben sich nur zögerlich entwickelt. Smart-Grids sind forciert aber nicht flächendeckend realisiert worden, was ein begrenztes Lastmanagement ermöglicht und zur Versorgungssicherheit beiträgt.

**Trotz geringer Fortschritte bei Biokraftstoffen der 2. Generation wurden die Biokraftstoffanteile sukzessive erhöht:**

Im Bereich der Biokraftstoffe stehen auch in 2040 im Wesentlichen nur solche der 1. Generation zur Verfügung. Die Beimischungsquote von 6 % wurde zunächst in eine Treibhausgasminderungsquote von 3,5 % und ab 2020 von 6 % überführt. Über das heimische Angebot hinaus wird Bio-Ethanol auf Zuckerrohr-Basis importiert und geringe Mengen BtL stehen zur Verfügung.

Im Luftverkehr wurden im Jahr 2030 10 % Bio-Kerosin (Bio-Diesel) und im Jahr 2040 20 % Bio-Kerosin (BtL) eingesetzt.

In den 2020er Jahren wurden einige zusätzliche Finanzmittel für die Verkehrsinfrastruktur bereitgestellt, die den Substanzerhalt sowie eine ähnliche Leistungsfähigkeit wie in 2010 ermöglicht haben. Neben dem Substanzerhalt wurden insbesondere einige Engpässe im Straßen-, Schienen- und Luftverkehr durch moderaten Ausbau beseitigt sowie in Einzelfällen die Umweltsituation (z. B. durch Lärmschutzmaßnahmen) verbessert.

Bezüglich alternativer Antriebe und der Steuerung des Verkehrssystems wird in der Politik weiter, wie seit den 1990er Jahren, auf Marktmechanismen gesetzt. Die Wettbewerbsfähigkeit des Standortes Deutschland soll nicht durch hohe Umweltabgaben belastet werden. Eine bevorzugte Förderung eines Verkehrsträgers gegenüber einem anderen wurde nicht umgesetzt, stattdessen wurde die verkehrsträgerbezogene Politik fortgesetzt. Bestandteil dieser Politik sind beispielsweise

die Weiterführung der Kfz-Besteuerung, wie auch bereits seit den 2000er Jahren, etwas differenziert nach Hubraum und Antriebsart (einschl. Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Emissionen). Die EU-Flottengrenzwerte wurden moderat weiterentwickelt.

**Moderate Kostendegression bei neuen Technologien und moderate Akzeptanz:**

Durch diese Politikausrichtung konnten die Kostenreduktionen bei der Entwicklung alternativer Antriebe geringfügig beschleunigt werden. Die „willingness to pay“ der Verbraucher kann als mäßig bezeichnet werden.

**Moderate Verschärfung der Emissionsgrenzwerte:**

Die von der EU eingeführten Flottengrenzwerte für Pkw basieren seit 2021 auf dem Typprüfzyklus WLTC (vorher NEFZ) und wurden moderat bis 2040 auf 80 gCO<sub>2</sub>/km gesenkt. Unberücksichtigt bleiben dabei die Well-to-Tank (WTT) Emissionen. Im Luftverkehr wurde im Jahr 2020 gewichtsspezifische CO<sub>2</sub>-Standards für alle Neukonstruktionen von Flugzeugen und ab 2023 für alle Flugzeugauslieferungen verpflichtend eingeführt.

Trotz der finanziellen Sparziele der 2010er Jahre ist die relative Finanzausstattung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) erhalten geblieben. Allerdings entwickelte sich der ÖPNV parallel zu den demografischen Trends und spiegelt somit auch den Rückgang von Schüler- und Ausbildungsverkehr, insbesondere in ländlichen Gebieten, wider.

**Heterogene Entwicklungen des SPV und ÖPNV:**

Aufgrund moderater Steuerung stieg die Auslastung der IC und EC Züge von 42% in 2010 auf 57% in 2040. Die Auslastung der ICE Züge konnte nur von 49% auf 51% zulegen. Der Energieverbrauch pro Personen-Kilometer verringerte sich entsprechend. Die Reisekosten im ÖPNV stiegen über die Jahre um 1 % p. a. Das Serviceangebot entwickelte sich unterschiedlich: in großen Städten und Metropolen-Regionen wurde der ÖPNV graduell, auf Basis steigender Fahrpreiseinnahmen, ausgebaut, während in peripheren Räumen das ÖPNV-Angebot ausgedünnt wurde (Streckenstilllegungen und Takt- ausdünnung). Dies führte zu Reisezeitverkürzungen in Städten um 10 %, während in ländlichen Gebieten die Reisezeiten des ÖPNV um 10 % zunahmen. Die Auslastung der RE, RB und IRE Züge stieg von 23% in 2010 auf 25% in 2040 moderat an.

Da seit Anfang des Jahrtausends die größeren Städte zunehmend Regulierungsbedarf bezüglich des motorisierten Individualverkehrs (MIV) sahen, wurde in urbanen Räumen der Umweltverbund gefördert. Aufgrund unzureichender finanzieller Ressourcen bei den Kommunen konnte dies jedoch nur begrenzt realisiert werden. Die Attraktivität des ÖPNV wurde moderat gesteigert, und es wurde stellenweise in die Fahrradinfrastruktur investiert. Ebenso wurden Fuß-Rad-ÖPNV-

Knotenpunkte ausgebaut und flexible Angebote wie Car-Sharing und öffentliche Leihfahräder im Rahmen des finanziell Möglichen gefördert.

Vor dem Hintergrund angespannter Finanzhaushalte in Städten und Kommunen wurden in fast allen mittleren Städten und Großstädten Parkraumbewirtschaftungssysteme umgesetzt, die Einnahmen aus dem MIV generieren. In 2014 hatte die Bundespolitik den Kommunen mehr Kompetenz zur Umsetzung von Elektromobilität bevorzugenden Regulierungen gegeben. Eine darüber hinausgehende nationale Förderung fand jedoch nicht statt.

**Leichte Verbesserung der Fahrradnutzung und moderates Parkraummanagement:**

Vor dem Hintergrund zunehmender Nutzung von Elektrofahrrädern hat sich insbesondere durch den punktuellen Ausbau von Fahrradinfrastrukturen die Reisegeschwindigkeit des Fahrradverkehrs in Städten etwas erhöht. Im Durchschnitt ist diese bis 2040 um rund 13% schneller, wobei sich individuell deutliche Unterschiede zeigen.

Der Parkraum wird heute in vielen Städten bewirtschaftet und die Parkgebühren moderat angehoben.

**Moderate Maßnahmen in den Umweltzonen der Städte:**

Trotz begrenzter Finanzmittel fördern Städte in kleinem Rahmen die Elektromobilität und Modelle wie das Car-Sharing. So wurden in großen Städten flächendeckende und standardisierte Ladeinfrastrukturen umgesetzt, so dass seit 2030 der Ladevorgang in keiner großen Großstadt (>500 000 EW) ein Hindernis darstellt.

Zusätzlich dürfen konventionell angetriebene Lieferfahrzeuge nur noch sehr beschränkt in Umweltzonen einfahren. Restriktionen des MIV wurden in Umweltzonen nicht eingeführt.

**Stabilisierung des privaten Fahrzeugbestandes und weitere Zunahme großer Fahrzeuge:**

Auch wenn heute viele Personen multimodal unterwegs sind, ist das private Auto fest in der Gesellschaft verankert. Der Gesamtfahrzeugbestand hat sich seit 2030 auf ca. gut 600 Pkw pro 1000 Einwohner eingependelt. In 2010 waren es 511 mit steigender Tendenz.

Bei den Fahrzeuggrößen kam es zu einer leichten Verschiebung zu kleineren und mittleren Fahrzeugen. In 2040 machen die Fahrzeuggrößen klein (S) 38 %, mittel (M) 49 % und groß (L) 13 % aus.