



for a living planet®



Forum Umwelt
und Entwicklung

Kurzstudie

Analyse zur Erreichung des Mindestziels von 10% erneuerbare Energien im Verkehrssektor



Zusammenfassung des WWF

Auftraggeber: WWF Deutschland
Franziska Mey/Viviane Raddatz
Reinhardtstraße 14
10117 Berlin

Ansprechpartner: Deutsches BiomasseForschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Telefon: +49-341-2434-112
Fax: +49-341-2434-133
E-Mail: info@dbfz.de
Internet: www.dbfz.de

Karin Naumann
E-Mail: karin.naumann@dbfz.de

Franziska Müller-Langer
E-Mail: franziska.mueller-langer@dbfz.de

Erstellt: 04/2010

Die Studie wurde in Kooperation mit dem „Forum Umwelt und Entwicklung“ respektive dem Projekt „Plattform für nachhaltige Biomasse“ erstellt

Das Projekt „Plattform für nachhaltige Biomasse“ wird gefördert durch:



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den AutorInnen.

Angesichts des Klimawandels und seiner Folgen hat sich die Europäische Union 2008 im sogenannten Klima- und Energiepaket ambitionierte Ziele zur Verminderung von Treibhausgasemissionen und zur Nutzung von erneuerbaren Energien (EE) bis 2020 gesetzt. Diese Zielsetzungen wurden mit Inkrafttreten der Erneuerbaren Energie Richtlinie am 25. Juni 2009 auch für jeden Mitgliedsstaat bindend und müssen in nationales Recht umgesetzt werden.

Speziell für den Bereich Verkehr sieht die EU vor, dass bis 2020 der Anteil von Energie aus erneuerbaren Energiequellen für alle Verkehrs- und Energieträger zusammen (Schiene, Elektrofahrzeuge, Biokraftstoffe) mindestens 10% betragen soll. Bis Juni 2010 müssen die EU-Mitgliedstaaten diese Zielsetzung in nationalen Aktionsplänen mit konkreten Maßnahmen und dem prognostizierten Energieverbrauch untersetzen.

Biokraftstoffe gelten derzeit vielen als die realistischste Möglichkeit, das gesetzte Ziel zu erreichen. Aber die Besorgnis über die Nachhaltigkeit der verwendeten Biokraftstoffe wächst, insbesondere im Hinblick auf die Konkurrenz im Anbau zur Nahrungsmittelproduktion, Verlust der Artenvielfalt und die Treibhausgasemissionen bei direkten und indirekten Landnutzungsänderungen.

Der WWF Deutschland und die Plattform „Nachhaltige Biomasse“ des „Forums Umwelt und Entwicklung“ haben daher das Deutsche Biomasse Forschungszentrum (DBFZ) beauftragt, alternative Szenarien zur reinen Biokraftstoffnutzung für die Erreichung des 10%-Ziels in Deutschland zu errechnen.

Die Studie berechnet wie das 10%-Ziel unter Einbeziehung von Elektroautos und Schienenverkehr erreicht werden kann. Gleichzeitig werden aber auch die Grenzen einer solchen Zielvorgabe offen gelegt. Es wird deutlich, dass ein Volumenziel für die Energieversorgung des Verkehrs mit Erneuerbaren Energien nur sinnvoll ist, wenn auch durch ein THG-Minderungsziel sichergestellt wird, dass der Gesamtenergieverbrauch des Verkehrs sinkt. Das heißt, dass ähnlich der 20% THG-Einsparungsziele auch für den Verkehrssektor eine THG-Reduktion in Relation zu 1990 festgelegt werden muss.

Heute wissen wir noch nicht, in welchem Umfang uns nachhaltige, effizient produzierte Biokraftstoffe bis 2020 und in den Folgejahren zur Verfügung stehen werden. Wir wissen aber schon, dass die verfügbare Biomasse nicht für alle Strom- und Verkehrsanwendungen ausreichen wird. Alternative Strategien wie Verkehrsverlagerung und Elektromobilität müssen deshalb so wie früh wie möglich verfolgt werden, um langfristig die nachhaltige Energieversorgung des Verkehrs zu sichern. Nur so wird dauerhaft sichergestellt, dass der Druck von der Biokraftstoffproduktion genommen wird und zukünftig ausschließlich nachhaltig produzierte Biokraftstoffe genutzt werden.

Die Studie gibt in den gesetzten Rahmenbedingungen erste Antworten darauf, welche Szenarien unter Einbindung verschiedener Verkehrs- und Energieträger – Schienenverkehr, Elektromobilität und Biokraftstoffe – zur Erfüllung des 10%-Ziels möglich sind. Dazu wurden auf Grundlage bestehender Daten (u.a. „Modell Deutschland“) Szenarien analysiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Als Ergebnis zeigt sich, dass bis 2020 Biokraftstoffe den wesentlichen Beitrag für die Erfüllung des 10%-Ziels leisten. Daher ist es geboten, die europäische und nationale Gesetzgebung und die Verpflichtung einer nachhaltigen Produktion von Biokraftstoffen umfassend und bis spätestens zum 1. Januar 2011 zu implementieren. Nach 2020 aber müssen komplementäre Lösungen verfügbar sein.

Konkret zeigt sich in den Ergebnissen der Szenarienrechnung dass Biokraftstoffe zwischen 5 und 8% des 10%-Ziels leisten werden. Selbst bei einer bestmöglichen Verlagerung auf den Schienenverkehr, der Nutzung von 100% Strom aus Erneuerbaren Energien und der Markteinführung von 5 Mio. Elektrofahrzeugen, würden Biokraftstoffe noch einen Anteil von mindestens 3,7% haben. In diesem Maximalszenario würde der Schienenverkehr bis zu 4,7% zum Ziel beitragen. Die Elektromobilität erreicht bei dieser Berechnung von 5 Mio. Elektrofahrzeugen bis zu 1,5%. Damit hat die Elektromobilität bis 2020 keinen entscheidenden Einfluss auf die Minderung von Treibhausgasemissionen. Da aber heute schon die Entwicklungspfade für den Verkehrssektor bestimmt werden, müssen die Anstrengungen zur Einführung der Elektromobilität intensiviert werden, um langfristig die Klimaschutzziele erreichen zu können.

Die Studie zeigt, dass alternative Entwicklungspfade erst nach 2020 größeren Einfluss gewinnen werden. Es führt jedoch in die Irre, die Bedeutung von alternativen Strategien für die Erreichung langfristiger Klimaschutzziele nur in der Perspektive bis 2020 zu beurteilen. Um über 2020 hinaus erfolgreichen Klimaschutz zu sichern, müssen die Weichen jetzt gestellt werden.

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
AR	Argentinien
Äquiv.	Äquivalent
BEE	Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BR	Brasilien
BtL	Biomass to Liquid (FT-Diesel)
D	Deutschland
DDGS	Trockenschlempe (Dried Distillers Grains with Solubles)
EE	erneuerbare Energie(n)
ETBE	Ethyl-tert-butylether
EtOH	Ethanol
ETT	European Energy and Transport, TRENDS TO 2030 [21]
EU	Europäische Union
EUR	Euro
Fzkm	Fahrzeugkilometer
HVO	Hydrierte Pflanzenöle (von engl. Hydrogenated Vegetable Oils)
ID	Indonesien
LA	Lateinamerika
MY	Malaysia
ÖSPNV	Schienengebundener Öffentlicher Straßenpersonennahverkehr (U-, S- und Straßenbahnen)
Pkm	Personenkilometer (Transportleistung Personenverkehr)
PME	Palmölmethylester
Pöl	Pflanzenöl
RENEW	RENEWABILITY [29]
RME	Rapsölmethylester
SOA	Südostasien
SME	Sojaölmethylester
tkm	Tonnenkilometer (Transportleistung Güterverkehr)
UA	Ukraine
US	Vereinigte Staaten von Amerika (United States)
WTT	Well-To-Tank (gesamter Kraftstoffpfad vom Rohstoff bis zur Zapfsäule)
WWF	World Wide Fund For Nature

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Hintergrund und Zielstellung	6
1.2	Vorgehensweise	6
2	Kurzcharakteristik Verkehrs- und jeweiliger Endenergieträger	7
2.1	Biokraftstoffe als Endenergieträger für Fahrzeuge auf Basis von Verbrennungsmotoren	7
2.2	Elektrizität als Endenergieträger für Fahrzeuge auf Basis von Elektromotoren (Elektromobilität)	12
3	Analyse des Energieverbrauchs und des Energiemixes	14
3.1	Verkehrssektor	14
3.2	Stromsektor	15
4	Szenarienanalyse	16
4.1	Methodik der Szenarienanalyse	16
4.1.1	Aspekt Schienenverkehr	18
4.1.2	Aspekt Straßenverkehr / Elektromobilität	18
4.1.3	Aspekt Straßenverkehr / Biokraftstoffe	18
4.2	Ergebnisse der Szenarienanalyse	20
4.2.1	Szenario A: Schiene	20
4.2.2	Szenario B: Elektromobilität	21
4.2.3	Szenario C: Verlagerung	21
4.2.4	Basisszenario	22
4.3	Auswertung der Szenarienanalyse	22
5	Gesamtbewertung und Handlungsempfehlungen	26
	Abbildungsverzeichnis	28
	Tabellenverzeichnis	29
	Literatur- und Referenzverzeichnis	30

1. Einleitung

1.1 Hintergrund und Zielstellung

Der Verkehrssektor ist europa- und weltweit charakterisiert durch einen deutlich steigenden Energieverbrauch. Als solcher ist er nicht nur von den limitierten fossilen Ressourcen (z.B. Mineralöl) abhängig, sondern gilt zudem als einer der Hauptverursacher des anthropogenen Treibhauseffekts. Daher soll mit der im April 2009 verabschiedeten Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG (2009/28/EG) jeder EU-Mitgliedsstaat gewährleisten, dass der Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen bei allen Verkehrsträgern im Jahr 2020 mindestens 10% seines Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor (d. h. im Straßen- und Schienenverkehr) entspricht. Um dies aus technischer, ökonomischer, ökologischer und sozialer Sicht optimal zu gestalten, ist derzeit eine Vielzahl von Biokraftstoffen als Alternative zu den konventionellen Otto- und Dieselmotoren sowie zur Elektromobilität in der Diskussion. Des Weiteren ist eine Verlagerung von Teilen des Straßenverkehrs auf die Schiene denkbar. Neben der Festlegung von Nachhaltigkeitskriterien für die Herstellung von Biomasse zur energetischen Verwendung sieht die Richtlinie vor, dass die Mitgliedstaaten bis zum 30.06.2010 nationale Aktionspläne zur Umsetzung ihrer Ziele erstellen und der Europäischen Kommission über die erzielten Fortschritte regelmäßig berichten.

Vor diesem Hintergrund ist es daher das Ziel dieser Kurzstudie – in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber WWF – Teilaspekte zur nachhaltigen Einbindung von Biokraftstoffen und der Elektromobilität in den Verkehrssektor zur Erreichung des oben genannten Ziels zu untersuchen. Dabei geht es insbesondere darum, generelle Möglichkeiten und Grenzen auszuloten und aus heutiger Sicht mögliche realisierbare Anteile von erneuerbaren Energien im Verkehrssektor im Jahr 2020 abzuschätzen.

1.2 Vorgehensweise

Ausgehend von den zuvor konstatierten Aufgaben und Zielen untergliedert sich die Kurzstudie in vier Arbeitspakete, die in nachstehender Übersicht (Abb. 1) zusammenfassend dargestellt sind.



2 Kurzcharakteristik Verkehrs- und jeweiliger Endenergie-träger

Mit dem Ziel, eine Basis der für 2020 zu berücksichtigenden Verkehrs- und jeweiligen Endenergie-träger zu schaffen, werden selbige nachfolgend in einer anschaulichen Kurzübersicht charakterisiert, wobei die aus gegenwärtiger Sicht für den Straßen- und Schienenverkehr relevanten Verkehrs- und Endenergie-träger betrachtet werden.

2.1 Biokraftstoffe als Endenergie-träger für Fahrzeuge auf Basis von Verbrennungsmotoren

In Abhängigkeit der eingesetzten Rohstoffe respektive Abfall- und Reststoffe haben sich bereits verschiedene Konversionsrouten in unterschiedlichem Umfang etabliert. Der Biokraftstoffsektor wird sich bedingt von verschiedenen Faktoren bis 2020 in einem gewissen Rahmen entwickeln. Hierbei spielen für die Entwicklung folgende Faktoren eine maßgebliche Rolle, u.a.:

- die gesetzlichen Rahmenbedingungen auf internationaler und nationaler Ebene,
- die kommerzielle Verfügbarkeit relevanter technologischer Konzepte und Kapazitäten,
- die Verfügbarkeit verwertbarer, nachhaltig bereitgestellter Rohstoffe,
- die Versorgungsinfrastruktur sowie die Antriebstechnik,
- und nicht zuletzt das spezifische Verbraucherverhalten.

Als Biokraftstoffe der heutigen Generation gelten Biokraftstoffe, die bereits in bedeutenden Mengen am Markt verfügbar sind. Die wichtigsten Biokraftstoffe sind Bioethanol bzw. ETBE und Biodiesel. In Deutschland spielt außerdem reines Pflanzenöl als Kraftstoff eine Rolle. Die Produktionstechniken für Biokraftstoffe der heutigen Generation sind ausgereift und etabliert. Für diese Arten von Biokraftstoffen werden meist spezifische Pflanzenteile (bzw. für Biodiesel auch tierische Abfälle) verwendet. Außerdem entstehen bei der Produktion von Biokraftstoffen der heutigen Generation auf pflanzlicher Basis Koppelprodukte, die als Tierfutter, in der chemischen Industrie, als Düngemittel oder zur weiteren Energieerzeugung dienen können.

Als Biokraftstoffe der zukünftigen Generation werden Biokraftstoffe bezeichnet deren Technologie zur Herstellung (i) zwar verfügbar ist, die aber noch nicht in signifikanten Mengen zur Verfügung stehen (z.B. HVO) oder (ii) noch nicht ausgereift ist und weiter entwickelt wird (z.B. BtL).

In Tab. 1 sind aus gegenwärtiger Sicht für Deutschland relevanten Biokraftstoffoptionen in einer Kurzübersicht hinsichtlich der wesentlichen Charakteristika gegenübergestellt.

Tab. 1 Kurzübersicht wesentlicher Biokraftstoffoptionen, DBFZ									
Biokraftstoffoption	Rohstoffe	Prozessschritte	Nebenprodukte		Technikstand + regionaler Fokus	F & E-Bedarf	Typische Anlagengröße (MW Kraftstoff)	Infrastrukturkompatibilität	Erwartete Verfügbarkeit 2020 am Markt – in signifikanten Mengen
Konventionelle / heutige Biokraftstoffe (1. Generation)									
Pflanzenöl	Ölsaaten/-früchte (z.B. Raps, Soja, Ölpalme, Sonnenblume, perspektivisch z.B. Jatropha)	Vorkonditionierung, mechanische/Lösungsmittelextraktion, Raffination	Presskuchen, Schrot		kommerziell, weltweit mit Vielzahl von Anlagen etabliert	Variable Rohstoffe, Katalysatoren, Biodiesel Wäscher	4 bis 190	vorhanden	ja
Biodiesel (FAME)	Pflanzenöle (s.o.) und Fette (ebenso Tierfette, in D jedoch keine Quotenanrechnung)	Schritte der Pflanzenöl-Produktion, Raffinierung, Umesterung, Reinigung	(Presskuchen, Schrot), Glycerin (verschiedene Qualitäten), Fettsäuren		kommerziell, weltweit mit Vielzahl von Anlagen etabliert (EU, US)	Verwendung von Glycerin, Oxidationsstabilität, Kälteeigenschaften	4 bis 190	vorhanden	ja
Bioethanol	Zuckerhaltige Pflanzen (z.B. Zuckerrübe, Zuckerrohr), Stärkehaltige Pflanzen (z.B. Mais, Getreide, Maniok)	Vorkonditionierung, Zuckereextraktion/ Hydrolyse, Fermentation, Destillation, Endreinigung	Schlempe/DDGS (Wärme/Strom, falls Maische für Energieversorgung verwendet)		kommerziell, weltweit mit Vielzahl von Anlagen etabliert (v. a. US, LA)	Prozessintegration	7 bis 220	vorhanden	ja
Zukünftige Biokraftstoffe (2. Generation)									
Hydriertes Pflanzenöl (HVO)	Pflanzenöle (s.o.) und Fette (ebenso Tierfette, in D jedoch keine Quotenanrechnung)	Raffination, Hydrierung, Nachbehandlung			kommerziell, erste Anlagen verfügbar, regionaler Fokus, v. a. EU, SOA, LA	Erhöhung der Rohstoff-Variabilität	150 bis 800	Premium-Diesel	bedingt
Bioethanol	Lignozellulosehaltige Biomasse (z.B. Stroh, Holz, Miscanthus, ganze Getreidepflanzen)	Vorkonditionierung, Hydrolyse, Fermentation, Destillation, Endreinigung oder Vorkonditionierung, Vergasung, Gasreinigung/-konditionierung, katalytische Synthese, Nachbehandlung	Lignin oder Wärme/ Strom (wenn Lignin/ Maische für Energieversorgung verwendet) oder Methanol, Propanol, Butanol und Pentanol		Pilot- und Demonstrationsanlagen, weltweit (v.a. US, LA, EU), Markteintritt bis 2020 erwartet	Erhöhung der Energieeffizienz, Integration in Cellulase-Produktion	15 bis 185	vorhanden	gering
BtL (Fischer-Tropsch-Diesel)	Lignozellulosehaltige Biomasse (z.B. Holz, Miscanthus, Stroh), Schwerpunkt zunächst auf Holz	Vorkonditionierung, Vergasung, Gasreinigung/-konditionierung, FT-Synthese, Nachbehandlung (Hydrocracken, Isomerisierung)	Wachse, Naphtha (Wärme/Strom, falls Abgas und exotherme Wärme für Energieversorgung verwendet)		Pilot-/Demonstrationsanlagen (z.B. Choren/Freiberg), regionaler Fokus, v.a. EU Erste großtechnische Anlage(n) bis 2020 denkbar	Weiterentwicklung aller Prozessschritte	> 130 bis 500	Premium-Diesel	marginal
Biomethan (Bio-SNG)	Lignozellulosehaltige Biomasse (z.B. Holz, Miscanthus, Stroh), Schwerpunkt auf Holz	Vorkonditionierung, Vergasung, Gasreinigung /Konditionierung, Synthese (Methanisierung), Nachbehandlung	Wärme/Strom, falls Abgas und exotherme Wärme für Energieversorgung verwendet		Demonstrationsanlage (z.B. EEE/Güssing), regionaler Fokus, v.a. EU Markteintritt bis 2020 erwartet	Up-Scaling von bestehenden Anlage-Konzepten, z.B. Vergasungsreaktoren	23 bis 170	Einspeisung in Erdgasnetz und Anwendung in -motoren	marginal
Biomethan (Biogas)	Biogas-Substrate (z.B. Gülle/Dung, Bioabfälle, Mais, Gras, Maissilage, Getreideganzpflanzen)	Vorkonditionierung, anaerobe Fermentation, Gasreinigung/Konditionierung	Wärme/Strom (falls Fermentationsrückstände für Energieversorgung verwendet), sonst Schlempe als Dünger		kommerziell, erste Anlagen verfügbar, regionaler Fokus, v.a. EU, Potenzial weltweit, v.a. LA, SOA	Erhöhung Methan-Ausbeute, Verbesserung der Gasaufbereitung	5 bis 15	Einspeisung in Erdgasnetz und Anwendung in -motoren	ja

2 Kurzcharakteristik Verkehrs- und jeweiliger Endenergieträger

Aufgeschlüsselt nach deren Rohstoffbasis ist in Abb. 2 der Biokraftstoffverbrauch in Deutschland für 2008 dargestellt. Energetisch entspricht diese Gesamtmenge von 36.694 GWh einem Anteil von 5,9% am gesamten nationalen Kraftstoffverbrauch.

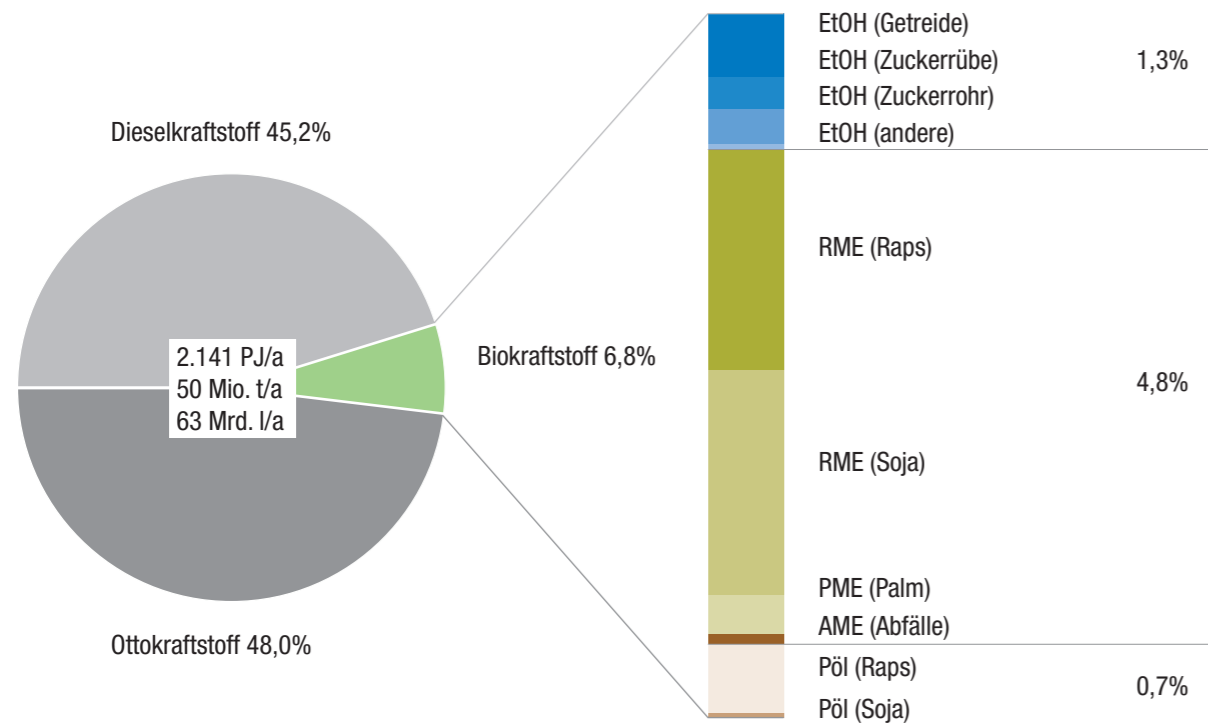


Abb. 2 Kraftstoffverbrauch (Otto-, Diesel- und Biokraftstoffe) 2008 in Deutschland (in Volumenprozent), eigene Berechnung DBFZ auf Basis BMU 2009 [5]

Bis 2020 werden neben den konventionellen Biokraftstoffen auch hydrierte Pflanzenöle (HVO) – hier entstehen bereits erste großtechnische Anlagen – sowie Biomethan aus Biogas, als Beimischung im Erdgasnetz, für eine kommerzielle Nutzung in marktrelevanten Mengen zur Verfügung stehen. Bioethanol aus lignozellulosehaltiger Biomasse, BtL sowie Bio-SNG werden aus gegenwärtiger Sicht bis 2020 keine wesentlichen Anteile im deutschen Biokraftstoffmarkt bereitstellen. Eine mögliche Zusammensetzung der 2020 in Deutschland bereitgestellten Biokraftstoffe ist im Zusammenhang mit der Szenarienanalyse in 4.1.3 Aspekt Straßenverkehr / Biokraftstoffe dargestellt.

Kraftstoff	Rohstoff	Tausend t/a
Biodiesel	Raps	1.222
	Soja	1.203
	Palm	202
	Abfälle	65
Pflanzenöl	Raps	381
	Soja	20
Bioethanol	Getreide	279
	Rüben	163
	Zuckerrohr	173
	andere	15

2 Kurzcharakteristik Verkehrs- und jeweiliger Endenergieträger

2.2 Elektrizität als Endenergieträger für Fahrzeuge auf Basis von Elektromotoren (Elektromobilität)

Der nationale Entwicklungsplan „Elektromobilität“ hat den Ausbau der Elektromobilität vor dem Hintergrund von Klimaschutz, Sicherung der Energieversorgung und dem Ausbau des Technologie- und Industriestandortes Deutschland als strategisches Thema auf die politische Agenda gesetzt [11].

Die Bundesregierung fördert derzeit den Ausbau und die Marktvorbereitung der Elektromobilität aus dem Konjunkturpaket II mit insgesamt 500 Millionen EUR. In acht Modellregionen arbeiten beispielsweise Akteure aus Wissenschaft, Industrie und den beteiligten Kommunen eng zusammen, um den Aufbau einer Infrastruktur und die Verankerung der Elektromobilität im öffentlichen Raum voranzubringen [1].

Technologieseitig ergeben sich für Forschung und Entwicklung folgende Schwerpunkte:

- Leistungsfähige Energiespeicher/ Batteriesysteme,
- Fahrzeug- und Antriebstechnologie und
- Ladeinfrastruktur und Netzintegration.

Grundsätzlich gibt es für elektrisch betriebene Fahrzeuge derzeit zwei Möglichkeiten der Energiebereitstellung: Batterien sowie wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen. Batterien werden von der Mehrzahl der Hersteller bevorzugt. Einzig die Daimler AG verfolgt noch eine Wasserstoffstrategie, obwohl gleichzeitig ein starkes Engagement im Batteriesektor (Zusammenarbeit mit Evonik) gegeben ist. Zudem ist die Speicherung und fahrzeugeitige Bereitstellung des Stroms mittels einer Batterie deutlich energieeffizienter als der Weg über die Elektrolyse des Wasserstoffs, dessen Speicherung sowie Umwandlung in einer Brennstoffzelle. Das Treibhausgas-minderungspotential eines batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugs ist etwa doppelt so groß wie das eines wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugs [32].

Bisher werden lediglich Kleinstserien (z.B. Tesla Roadster, Mini E, Smart EV, Renault Clio/Kangoo électrique, Mitsubishi iMiEv¹) produziert, deren Einsatzmöglichkeiten und -grenzen z.T. in Feldversuchen analysiert werden [15]. Aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten besteht hinsichtlich der Elektrofahrzeuge noch erheblicher Forschungsbedarf zu deren Öko-Bilanz sowie zur Rohstoffnachfrage und dem Fahrzeugrecycling [30].

Energiespeicher.

Die Entwicklung der Energiespeicher konzentriert sich derzeit auf Lithium-Ionen-Batterien, wobei die Forschung zu deren Einsatz in Elektrofahrzeugen noch am Anfang steht und sie u. a. in Langlebigkeit, Wirtschaftlichkeit, Gewicht und Reichweite noch nicht den Anforderungen genügen. Die Bundesregierung und die Industrie fördern die Entwicklung von Produktionstechnologien für Lithium-Ionen-Batteriesysteme in großem Umfang [10]. Hinsichtlich verbindlicher Sicherheitsnormen, vor allem zu Standards für den Einbau der Batterien sowie zu Anforderungen für den Unfallversuch, befinden sich Lithium-Ionen-Batterien für Fahrzeuge noch in der Testphase [16].

Derzeit weisen die Energiespeicher elektrisch angetriebener Fahrzeuge folgende Kennzahlen auf:

- Reichweite: 60 bis 200 km
- Leistungsgewicht: 120 bis 150 Wh/kg
- Lebensdauer: 500 bis 6.000 Ladezyklen
- Kosten: 700 bis 1.000 EUR/kWh Speicherkapazität
- Ladezeit: 5 bis 8 Stunden (je nach Stromanschluss) [35] [41] [42] [43] [44].

Infrastruktur.

Ein wesentliches Kernproblem der Elektromobilität stellt die noch unzureichende Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum dar. Mit deren Installation sind erhebliche Investitionen verbunden, die erst bei entsprechender Planungssicherheit zu erwarten sind [35]. Ein wichtiger Ansatz für die nachhaltige Elektromobilität ist die Nutzung erneuerbarer Energie, vor allem während der nächtlichen Schwachlastzeit. Angestrebt wird zudem die Abgabe der gespeicherten elektrischen Energie während der Spitzenlastzeiten, um die Extrema im Tagesgang des Stromverbrauchs durch Lastmanagement einander anzugleichen [11]. Diese Form intelligenter Netze und die damit verbundene Vehicle-to-grid-Einspeisung sind jedoch noch nicht Stand der Technik [35].

Strategische Allianzen z.B. zwischen Automobil- und Batterieherstellern sowie Automobilherstellern und Energieversorgungsunternehmen treiben die Entwicklung weiter voran. Dennoch gehen einige Branchenvertreter davon aus, dass sich die Elektromobilität als Massenmarkt vor allem in Ermangelung entsprechend kostengünstiger und zuverlässiger Batterien, erst in etwa 10 bis 15 Jahren entwickeln wird [14].

¹ Quellen: Internetpräsenz der Hersteller

3 Analyse des Energieverbrauchs und des Energiemixes

3.1 Verkehrssektor

In den Prognosen zum Verkehrsaufkommen in 2020 wird vorwiegend von einer steigenden Verkehrsleistung in den kommenden Jahrzehnten sowohl im Personen- als auch vor allem im Güterverkehr ausgegangen. Hingegen können diese Effekte in unterschiedlichem Umfang durch eine gesteigerte Effizienz im Bereich der Fahrzeugtechnologie ausgeglichen werden. Als primäre Datenbasis für die Struktur des Verkehrssektors 2020 werden die Daten der Studie „Modell Deutschland“ zugrunde gelegt [31]. Im Referenzszenario wird hier von einem Endenergieverbrauch im Straßen- und Schienenverkehr von etwa 2.000 PJ im Jahr 2020 ausgegangen.

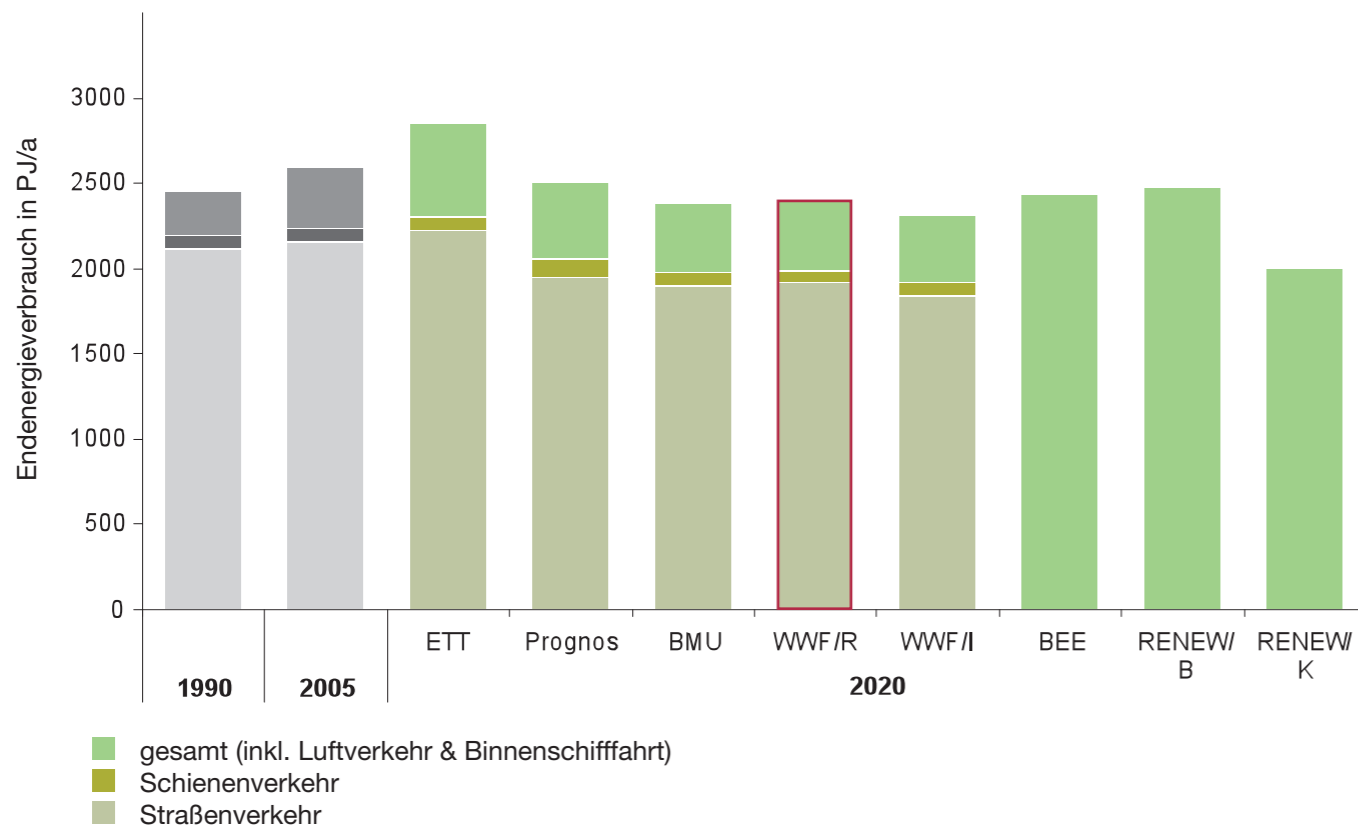


Abb. 3 Endenergieverbrauch im Verkehr in PJ für Deutschland 2020 [1] [7] [21] [29] [31]

Aufgrund der Wirtschafts- und Finanzkrise, von der weite Teile der deutschen Volkswirtschaft betroffen sind, ist die Transportleistung des Schienengüterverkehrs in 2009, entgegen des vorherigen Trends, mit einer Abnahme von 17,1% (der tkm) stark rückläufig gewesen [37]. Auch die tonnenkilometrische Leistung im Straßengüterverkehr ging laut vorläufigen Angaben in 2009 um 10,2% (der tkm) im Vergleich zum Vorjahr zurück [36]. Im Bereich des Schienenpersonenverkehrs geht die Studie Modell Deutschland von einer Steigerung der Verkehrsleistung (Pkm) bis 2020 im Fernverkehr, im Nahverkehr und im schienengebundenen Straßenpersonenverkehr (ÖSPNV) aus [31]. Momentan ist allerdings eher eine abnehmende Verkehrsleistung gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen: der öffentliche Personenverkehr hat 2009 in Deutschland um 0,3% (Pkm) abgenommen und lediglich der ÖSPNV (hier besonders Straßenbahnen) ist um 4,2% (Pkm) gestiegen [38].

3.2 Stromsektor

Für das Jahr 2020 wird von einem Anteil von etwa 35% Strom aus erneuerbaren Energien ausgegangen [1]. Laut Branchenprognose wird hingegen mit einem Anteil von 47% Strom aus erneuerbaren Energien in 2020 gerechnet [7]. Gemäß EU-Richtlinie [9] wird für den Verbrauch von Fahrzeugen mit Elektroantrieb der Anteil von Elektrizität aus erneuerbaren Quellen – gemessen zwei Jahre vor dem betreffenden Jahr – angesetzt. Daher müsste der Anteil von 35% Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen, von denen in dieser Studie ausgegangen wird, bereits im Jahr 2018 erreicht werden.

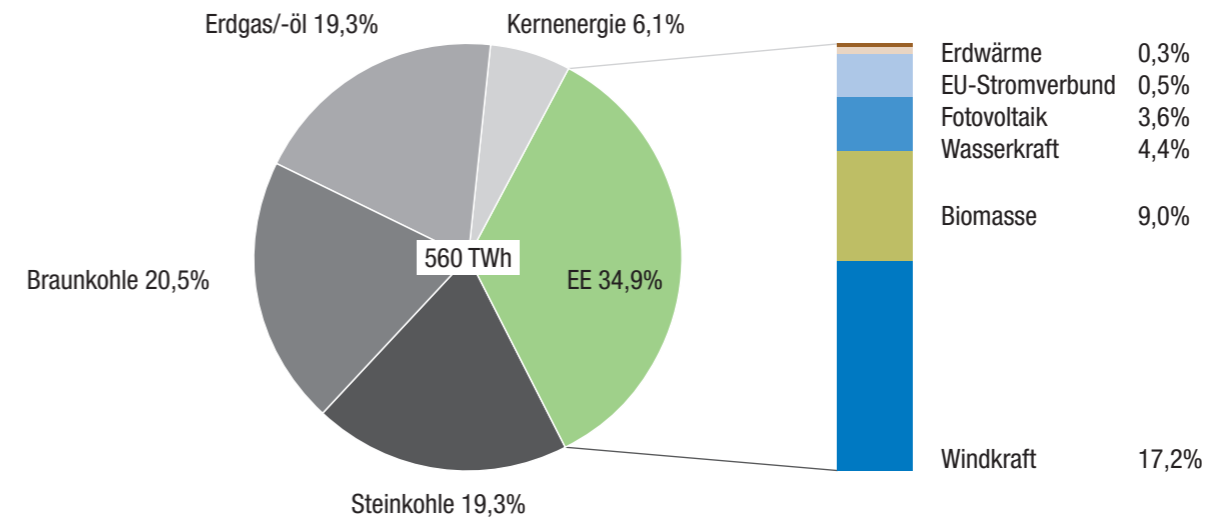


Abb. 4 Prognose der Stromerzeugung in Deutschland 2020 [1]

Der Bahn-Strommix der Deutschen Bahn soll, ausgehend von einem derzeitigen Anteil von etwa 16% erneuerbaren Energien, nach eigenen Angaben im Jahr 2020 einen Anteil von 30% erneuerbaren Energien erreichen [40]. Dies entspricht auch der Trendfortschreibung des Bahn-Strommixes, welche der Entwicklung der Faktoren für die Treibhausgas(THG)-Emissionen [29] in Tab. 3, zu Grunde liegen.

	2008	2020
Strommix, lokal	622	546 ^a
Strommix, Bahn	505	518 ^b
Strommix, regenerativ		67

^a basierend auf BMU-Leitszenario [29], ^b Fortschreibung Bahn-Strommix [29], interpolierter Wert für 2008

Mittels der in Tab. 3 zusammengefassten THG-Emissionen für die unterschiedlichen Strommixe in 2008 und 2020 werden in Abschnitt 4 die Emissionsminderungen der einzelnen Szenarien vergleichend gegenübergestellt. Laut EU-Richtlinie [17] wird für elektrisch angetriebenen Schienenverkehr ebenfalls der nationale bzw. europäische Strommix angesetzt. Aufgrund der in Deutschland nahezu getrennten Netze werden sie in dieser Studie separat betrachtet.

Der Wirkungsgrad für elektrischen Strom (Verhältnis Endenergie zu Primärenergie) wird in dieser Studie generell mit 0,38 [27] angesetzt. Es ist allerdings davon auszugehen, dass er sich bis 2020 aufgrund technischer Entwicklungen steigert.

4 Szenarienanalyse

4.1 Methodik der Szenarienanalyse

Im vorangegangenen Teil dieser Kurzstudie sind die für 2020 erwarteten Entwicklungen bezüglich des Strom- und Biokraftstoff- sowie des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor zusammenfassend dargestellt. Darauf basierend werden im Zuge der Szenarienanalyse drei Entwicklungsmöglichkeiten betrachtet, deren Fokus jeweils auf dem Einsatz erneuerbarer Energien im Schienenverkehr (A) und in der Elektromobilität (B) sowie in der Verlagerung von Güter- und Personenverkehr von der Straße auf die Schiene (C) liegt. Diese Szenarien mit verschiedenen Entwicklungspfaden wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber berechnet und der potentielle Beitrag zum 10%-Ziel analysiert.

Als Datenbasis für die Berechnungen innerhalb der einzelnen Szenarien dient das Referenzszenario der Studie „Modell Deutschland“ [31]. Darin sind die Endenergieverbräuche der einzelnen Verkehrsmittel (Straßen und Schienenverkehr) nach Güter- und Personenverkehr sowie den jeweiligen Endenergieträgern (Strom, Kraftstoffarten) für 2020 zusammengefasst. Für alle Szenarien wird von der gleichen Verkehrsleistung ausgegangen, unabhängig davon, durch welchen Verkehrsträger sie realisiert wird. Im Personenverkehr sind das 889 Mrd. Personenkilometer (Pkm) auf der Straße sowie 96 Mrd. Pkm auf der Schiene. Der Gütertransport umfasst 2020 564 Mrd. tkm auf der Straße sowie 141 Mrd. tkm auf der Schiene.

Im Rahmen des durch die EU formulierten Ziels [17] werden lediglich fossil bzw. regenerativ bereitgestellte Anteile der im Verkehrssektor benötigten Endenergie quantifiziert. Effizienzsteigerungen respektive Energieeinsparungen werden durch das 10%-Ziel nicht abgebildet und demnach in dieser Studie nicht gesondert betrachtet. Im Rahmen der Ergebnisdiskussion werden Änderungen im End- und Primärenergiebedarf sowie der THG-Emissionen der vier definierten Szenarien miteinander verglichen.

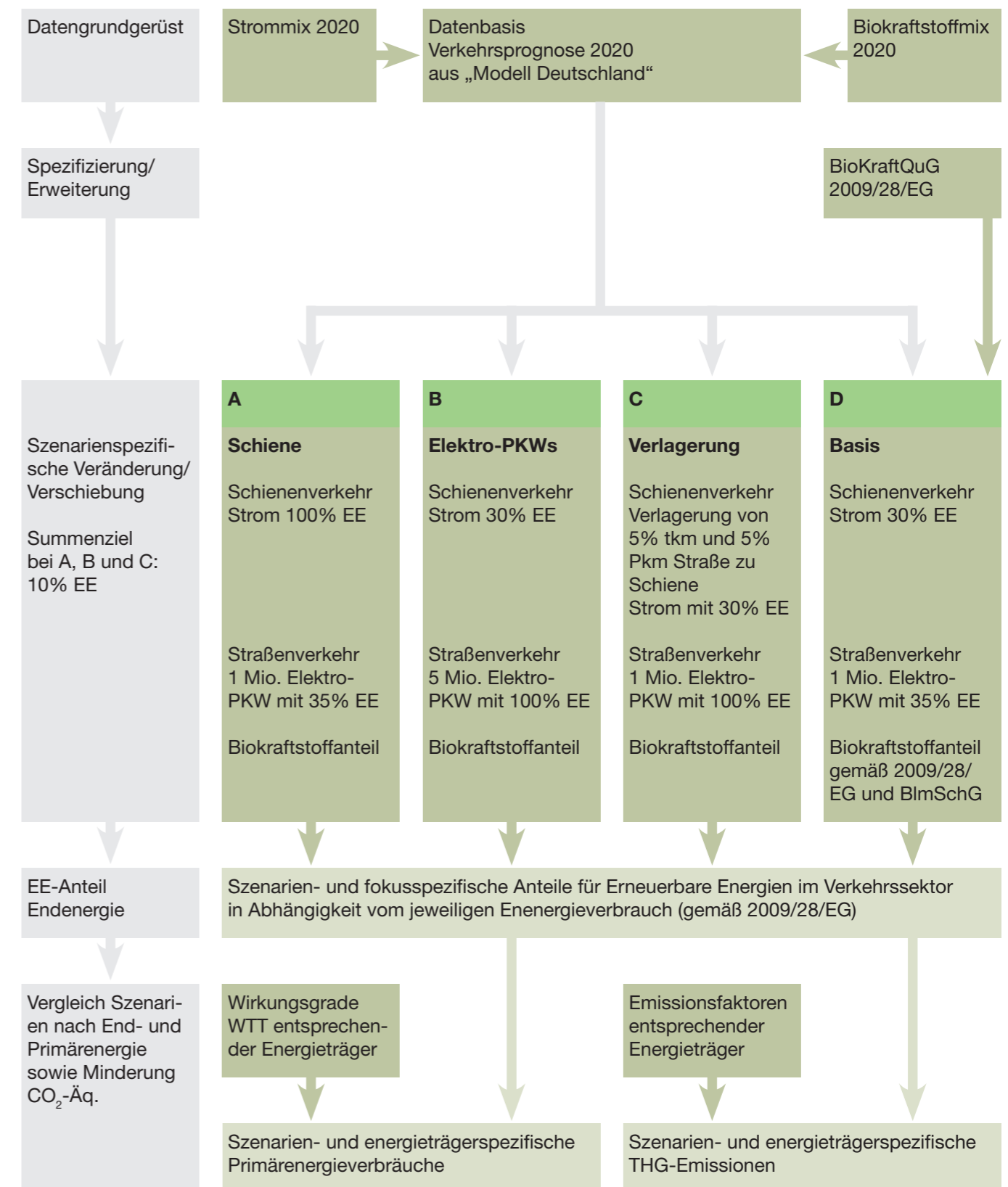


Abb. 5 Methodik der Szenarienanalyse

4 Szenarienanalyse

4.1.1 Aspekt Schienenverkehr

Die für 2020 erwartete Endenergie, die für den Schienenverkehr in Form von Strom bereitgestellt wird, setzt sich entsprechend des Szenarios aus 30% [40] bzw. 100% Strom aus erneuerbaren Energien zusammen. Der jeweilige Anteil Endenergie wird dem Gesamtziel von 10% erneuerbarer Energie im Verkehrssektor angerechnet. Die Deutsche Bahn will den Anteil erneuerbarer Energie im Bahnstrom bis 2020 auf 30% und bis 2050 auf 100% steigern [40]. Der Einsatz von Biokraftstoffen als Reinkraftstoff war im Testbetrieb nicht erfolgreich, so dass Biodiesel derzeit lediglich in Form der gesetzlichen Beimischung eingesetzt wird.

4.1.2 Aspekt Straßenverkehr/Elektromobilität

In den Szenarien werden eine bzw. fünf Millionen Elektrofahrzeuge für 2020 angenommen, welche die entsprechende Anzahl der für 2020 erwarteten Benzinfahrzeuge ersetzen. Sowohl die Gesamtfahrzeugzahl als auch die Summe der Gesamtfahrleistung in km/a aller Fahrzeuge bleiben dabei gleich. Aufgrund der geringeren Jahresfahrleistung der Elektrofahrzeuge (weniger als die Hälfte, da Anwendungsbereich Kurzstreckenfahrten) hat dies eine höhere spezifische Jahresfahrleistung der verbleibenden Benzinfahrzeuge zur Folge. Den eingesetzten Elektrofahrzeugen wird ein Anteil von 30% rein elektrisch betriebener PKW und ein Anteil von 70% Plug-in-Hybriden zugrunde gelegt (auf Basis CE Delft 2009 [27]), welche wiederum 80% ihrer Fahrleistung elektrisch antreiben und 20% ihrer Fahrleistung mit Hilfe des Verbrennungsmotors auf Basis von fossil bereitgestelltem Ottokraftstoff bewältigen. Bei einer Stromerzeugung von etwa 560 TWh in 2020 [6] ist ein zusätzlicher Bedarf von 0,7 TWh für eine Million Elektrofahrzeuge (Szenario A) bzw. 3,4 TWh für fünf Millionen Elektrofahrzeuge (Szenario B) nicht signifikant. Zudem sollen Ladevorgänge vorrangig nachts vorgenommen werden. Hier könnte die benötigte elektrische Energie entweder im Rahmen der Grundlast zur Verfügung gestellt werden, was eine ökonomisch und ökologisch effizientere Auslastung der Kraftwerke bedeutet, oder in Form von überschüssigem Strom aus erneuerbaren Quellen (z.B. Windenergie) [32].

4.1.3 Aspekt Straßenverkehr/Biokraftstoffe

Entsprechend des Biokraftstoffquotengesetzes [8] muss ab dem Jahr 2020 durch Biokraftstoffe die Treibhausgasmenge des gesamten Kraftstoffverbrauchs (Otto-, Diesel- und Biokraftstoffe) um 7%³ gesenkt werden. Diese Biokraftstoffe müssen entsprechend der Richtlinie 2009/28/EG [8] ab 2018 eine Minderung der THG-Emissionen von mindestens 60%⁴ (Neuanlagen, gebaut ab 2017) bzw. mindestens 50%¹ (Anlagen, gebaut bis 2016) erreichen. Ausgehend von 60% THG-Minderung der eingesetzten Biokraftstoffe ergibt sich daraus ein Anteil von 11,6% Biokraftstoffen (bezogen auf die Gesamtmenge Otto-, Diesel und Biokraftstoffe) im Jahr 2020. Diese Quote findet sich im Basisszenario wieder, hier aufgrund der größeren Gesamtmenge (plus Strom und Gas) bei ca. 11,3%. In den Szenarien A, B und C dienen die Biokraftstoffe als variable Komponente zur Erreichung des 10%-Ziels. In der Studie „Modell Deutschland“ [31] werden für 2020 je nach Szenario ein Biokraftstoffanteil von 10,5% bzw. 13,6% bezogen auf den Energiegehalt prognostiziert.

² BIMSCHG, Dritter Teil, Zweiter Abschnitt, Biokraftstoffe, § 37a

³ bezieht sich auf kg CO₂eq/GJ Kraftstoff

⁴ bezieht sich auf g CO₂eq/MJ Kraftstoff

⁵ ab 1. Januar 2017 mind. 50% und ab 1. Januar 2018 mind. 60%, sofern die Schnittstelle (Produktionsanlage) nach dem 31. Dezember 2016 in Betrieb genommen worden ist.

Für die Zusammensetzung der 2020 eingesetzten Biokraftstoffe werden folgende konservative Annahmen getroffen:

- Bioethanol (EtOH) wird durchschnittlich zu 10% beigemischt (Ottokraftstoff), da bis 2020 mit einer Freigabe von E10 zu rechnen ist; der Bedarf steigt damit, bezogen auf 2008, um etwa 150%
- Biodiesel (FAME) wird durchschnittlich zu 9% beigemischt (Diesel) bzw. als Reinkraftstoff genutzt, die absolute Menge ändert sich im Vergleich zu 2008 nur geringfügig
- Hydrierte Pflanzenöle (HVO) werden durchschnittlich zu 2% beigemischt (Diesel), die möglichen 3% Beimischung [1] werden 2020 noch nicht voll ausgeschöpft
- Pflanzenöl (Pöl) bleibt ohne steuerliche Vorteile und wird lediglich in teilweise landwirtschaftlichen Betrieben (beispielsweise zur Selbstversorgung) als Reinkraftstoff eingesetzt
- Biomethan erreicht im Erdgasnetz einen Beimischungsgrad zum im Kraftfahrtsektor eingesetzten Erdgas von 20% [9]
- Biokraftstoffe der 2. Generation, wie beispielsweise BtL und Ethanol aus lignozellulosehaltiger Biomasse, spielen 2020 noch keine signifikante Rolle [24]

Alle vorangestellten Verhältnisangaben beziehen sich auf das Volumen.

Basierend auf dem Biokraftstoffverbrauch 2008 [5] in Abb. 2 und den getroffenen Annahmen hinsichtlich der Entwicklung des Biokraftstoffmarktes ergibt sich die Verteilung flüssiger Biokraftstoffe 2020 in Abb. 6. Die geringeren Anteile des Soja-Biodiesels ergeben sich aus dessen veränderten Importen (B99, USA) nach der Einführung der Antidumping- und Ausgleichszölle (ab 12. Juli 2009) [19][20]. Deren Erlass dient dem Ausgleich der Markt Vorteile von durch die Vereinigten Staaten von Amerika subventioniertem und in die EU eingeführtem Biodiesel. Die Gesamtmenge Otto-, Diesel- und Biokraftstoff in PJ/a orientieren sich am Referenzszenario der Studie „Modell Deutschland“ für 2020 [31].

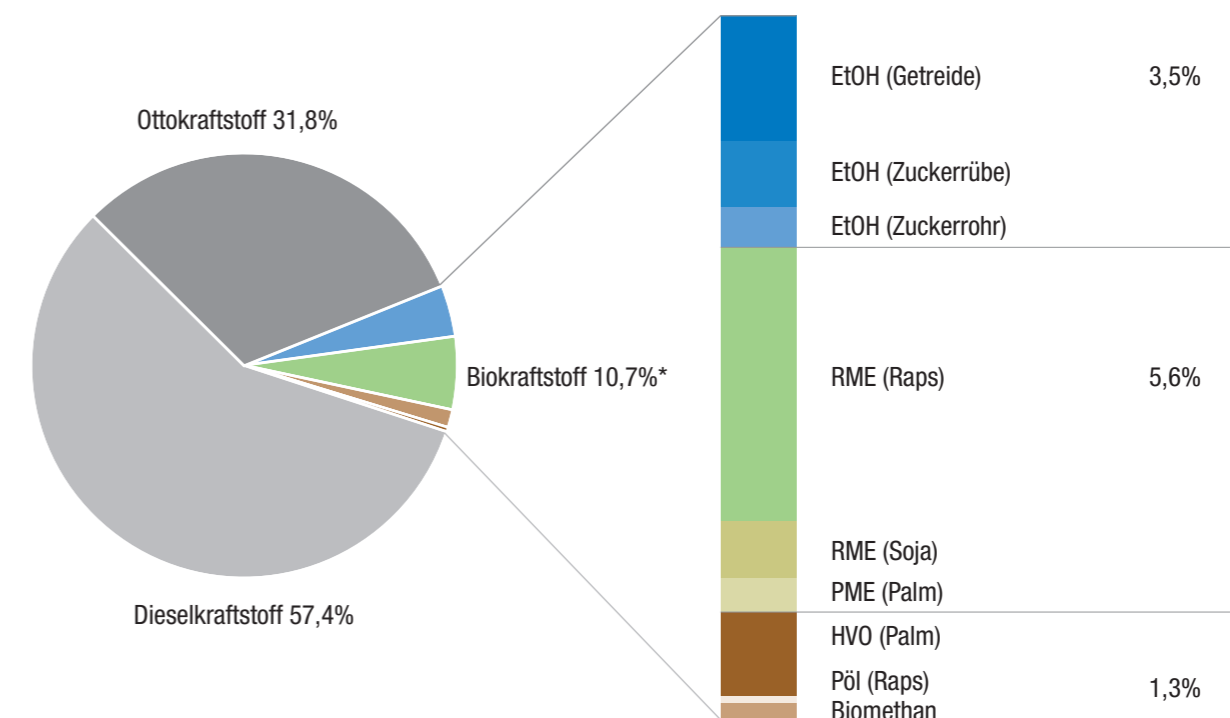


Abb. 6 Kraftstoffverbrauch (Otto-, Diesel- und Biokraftstoffe) 2020 in Deutschland (in Volumenprozent)
*Berechnungsgrundlage „Modell Deutschland“ WWF

4 Szenarienanalyse

Alle Biokraftstoffe, die 2020 auf die Biokraftstoffquote angerechnet werden, müssen eine Emissionsminderung von 60%⁵ bezogen auf 83,8 g CO₂-Äquiv./MJ bei fossilem Otto- und Dieselmotorkraftstoff aufweisen. Der Standardwert für Biodiesel aus Rapsöl liegt beispielsweise bei 52 g CO₂-Äquiv./MJ, wobei 29 g CO₂-Äquiv./MJ auf den Anbau der Biomasse entfallen [17].

Der für 2020 resultierende Rohstoffbedarf für RME von etwa 2 Mio. Tonnen könnte auf einer in Deutschland insgesamt verfügbaren Anbaufläche für Raps von ca. 1,5 Mio. Hektar bereit gestellt werden [3]. Allerdings resultiert aus der weiteren Verwendung von Rapsöl im Lebensmittelsektor ein Bedarf, der teilweise nur durch Importe gedeckt werden kann.

Kraftstoff	Rohstoff	Tausend t/a
Biodiesel	Raps	2.084
	Soja	417
	Palm	278
Bioethanol	Getreide	868
	Zuckerrübe	434
	Zuckerrohr	260
HVO	Palm	641
Pflanzenöl	Raps	53
Biomethan	verschiedene	95

Die derzeitigen Produktionskapazitäten sind beim Biodiesel in Deutschland etwa doppelt so groß wie der inländische Verbrauch, und auch der steigende Bioethanolverbrauch ist geringer als die Produktionsleistung in Deutschland verfügbarer Anlagen [22].

4.2 Ergebnisse der Szenarienanalyse

4.2.1 Szenario A: Schiene

Szenarienannahmen

Schieneverkehr Bahnstrom mit 100% erneuerbarer Energien
 Straßenverkehr 1 Mio. Elektro-Pkw mit Strommix 2020 (35% erneuerbare Energien),
 Biokraftstoffe (verbleibender Anteil bis zum Ziel 10% EE)

Szenarienergebnis

Die Bahn erreicht durch ihren hohen Anteil elektrisch betriebener Züge und Streckenkilometer bei einem Einsatz von 100% regenerativem Strom im Bahnstrom einen Anteil von 3,2% erneuerbarer Energie im gesamten Straßen- und Schienenverkehr. Da die Elektrofahrzeuge lediglich einen Anteil von 0,1% erreichen, verbleiben für die Biokraftstoffe eine aufzufüllende Lücke von 6,7% der Endenergie.

Die Umstellung des Bahnstroms auf 100% erneuerbare Energie ist allerdings bis 2020 aufgrund langfristiger Lieferverträge nicht zu erreichen. Bei einem weiter steigenden Anteil regenerativer Energie im entsprechenden Strommix, kann die Bahn dieses Ziel gegebenenfalls nach 2020 erreichen. Zudem ist eine getrennte Betrachtung des Bahnstroms vom nationalen Strommix in der EU-Richtlinie 2009/28/EG [17] derzeit nicht vorgesehen.

4.2.2 Szenario B: Elektromobilität

Szenarienannahmen

Schieneverkehr Bahn-Strommix 2020 (mit 30% erneuerbarer Energien)
 Straßenverkehr 5 Mio. Elektro-Pkw mit Strom aus 100% erneuerbaren Energien,
 Biokraftstoffe (verbleibender Anteil bis zum Ziel 10% EE)

Szenarienergebnis

Beim Entwicklungsfokus „Elektromobilität“ erreicht diese einen Anteil von 1,5% erneuerbarer Energie im Verkehrssektor (inkl. Faktor 2,5, entsprechend EU-Richtlinie [17]). Die Bahn erreicht einen Anteil von 1,0%, womit für Biokraftstoffe ein notwendiger Anteil von 7,5% verbleibt.

Die Realisierbarkeit von fünf Millionen Elektrofahrzeugen bis 2020 ist vor allem im Hinblick auf die gegenwärtig vergleichsweise hohen Anschaffungskosten als niedrig anzusehen. Zudem ist eine Anrechnung des Anteils erneuerbarer Energie entsprechend der EU-Richtlinie 2009/28/EG [17] an den nationalen oder europäischen Strommix gekoppelt, die beide bis 2020 nicht zu 100% aus EE gedeckt werden können. Durch eine weiter steigende Anzahl elektrisch angetriebener Fahrzeuge und einem steigenden Anteil regenerativer Energie im Stromsektor kann dieser Anteil von 1,5% gegebenenfalls nach 2020 erreicht werden.

4.2.3 Szenario C: Verlagerung

Szenarienannahmen

Schieneverkehr 5% Straßenpersonenverkehr und 5% Straßengüterverkehr auf Schiene,
 Bahn-Strommix 2020 (mit 30% erneuerbare Energien)
 Straßenverkehr 1 Mio. Elektro-Pkw mit Strommix 2020 (35% erneuerbare Energien),
 Biokraftstoffe (verbleibender Anteil bis zum Ziel 10% EE)

Die zusätzliche Schienenverkehrsleistung sowie die damit verbundenen örtlichen Leistungen werden nur durch elektrisch betriebene Züge realisiert. Es ist kein Faktor integriert, der eine eventuelle Erhöhung/Verkürzung der Wegstrecke berücksichtigt. Der spezifische Verbrauch (kJ/Pkm) wird auf den Zuwachs übertragen ohne eine mögliche Betrachtung der Erhöhung der Auslastung.

Szenarienergebnis

Der Fokus liegt hier bei der Verlagerung von Straßenverkehr auf die Schiene. Die angenommene Größenordnung von jeweils 5% Personen- (Pkm) und Güterverkehr (tkm) führt zu einer drastischen Erhöhung des Schienenverkehrs: die 141 Mrd. tkm im Schienengüterverkehr 2020 werden um weitere 28 Mrd. tkm erhöht und die 96 Mrd. Pkm im Personenverkehr werden um weitere 43 Mrd. Pkm erhöht. Würde diese Verlagerung ausschließlich im Bereich Fernverkehr stattfinden, müsste sich die entsprechende Verkehrsleistung auf der Schiene von 37 Mrd. Pkm auf 80 Mrd. Pkm mehr als verdoppeln. Dennoch erreicht die Bahn in diesem Szenario lediglich 1,4% Anteil erneuerbare Energie, die Elektromobilität 0,3%, und damit verbleibt für die Biokraftstoffe ein zu überbrückender Abstand von 8,3% zum 10%-Ziel.

Die Realisierbarkeit einer derartig umfangreichen Verlagerung kann im Rahmen dieser Kurzstudie nicht eingehend untersucht werden. Wenn die derzeitigen Engpässe punktuell beseitigt werden, weist das Netz der Bahn jedoch erhebliche Kapazitätsreserven auf, die z.B. durch optimierte Infrastruktur (Zuglängen und Achslasten), rechnergestützte Disposition und höhere Auslastung verfügbar wären [39]. In Abhängigkeit von der Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energie im entsprechenden Strommix kann der Schienenverkehr im Zusammenhang mit dieser starken Verlagerung gegebenenfalls einen noch höheren Anteil am 10%-Ziel erreichen (vgl. Maximum-Szenario Tab. 6).

4 Szenarienanalyse

4.2.4 Basisszenario

Szenarienannahmen

Schieneverkehr Bahn-Strommix 2020 (mit 30% erneuerbarer Energien)
 Straßenverkehr 1 Mio. Elektro-Pkw mit Strommix 2020 (35% erneuerbare Energien),
 Biokraftstoffanteil entsprechend Quote [8] [17]

Szenarienergebnis

Den drei ersten Szenarien gegenübergestellt ist die Betrachtung der Verkehrsentwicklung im Rahmen gegenwärtiger Prognosen im Bereich der elektrischen Antriebe, die Zahl der Elektrofahrzeuge sowie die Entwicklung des Anteils der erneuerbaren Energien im Stromsektor (lokal & Deutsche Bahn) betreffend. Der Anteil der Biokraftstoffe macht entsprechend derzeitiger rechtlicher Vorgaben [8][17] 11,3% der Endenergie im Verkehrssektor aus. Der Schienenverkehr und die Elektromobilität kommen jeweils auf einen Anteil von 1% bzw. 0,1%.

4.3 Auswertung der Szenarienanalyse

Innerhalb der einzelnen Szenarien wird der Fokus auf verschiedene Entwicklungsaspekte gelegt. Die Szenarien sind in Abb. 7 hinsichtlich ihres jeweiligen End- und Primärenergiebedarfes sowie ihrer THG-Emissionen miteinander verglichen. Gegenübergestellt sind die Veränderungen bezüglich eines Referenzszenarios (Tab. 5), dem ebenfalls der für 2020 prognostizierte Endenergiebedarf [31] zugrunde liegt, wobei der Bahnstrom und die Anteile im Kraftstoffsektor, verbunden mit den entsprechenden Emissionsfaktoren, denen aus dem Jahr 2008 entsprechen [5], gewissermaßen einer Referenz 2020 mit Stand der Technik 2008.

Tab. 5 Referenzszenario 2020, Endenergiebedarf und THG-Emissionsfaktoren, RENEWBILITY [29] und eigene Berechnungen DBFZ auf Basis BMU 2009 [5] und Modell Deutschland 2009 [31]

	PJ	g CO ₂ -Äquiv./kWh
Straßenverkehr		
Ottokraftstoff	909	302
Diesekraftstoff	937	302
Biokraftstoffe	113	169
Schieneverkehr		
Diesekraftstoff	14	302
Elektrizität	64	505

Bei der Auswertung der Ergebnisse darf nicht außer Acht gelassen werden, dass in jedem der drei Szenarien die Biokraftstoffe den größten Anteil der aus erneuerbaren Energien bereit gestellten Endenergie stellen.

Der End- respektive Primärenergiebedarf nimmt mit zunehmendem Anteil der Elektrofahrzeuge bzw. steigender Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene zu. Die Minderungen der Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Referenzszenario (s. Tab. 5) ist beim Szenario „Elektro“ mit 3,6% am geringsten. Trotz des größeren Primärenergiebedarfs kann beim Basisszenario eine Minderung der THG-Emissionen um 4,1% erreicht werden. Bei den Szenarien „Verlagerung“ (-5,4%) und „Schiene“ (-6,1%) sind die Einsparpotentiale am größten.

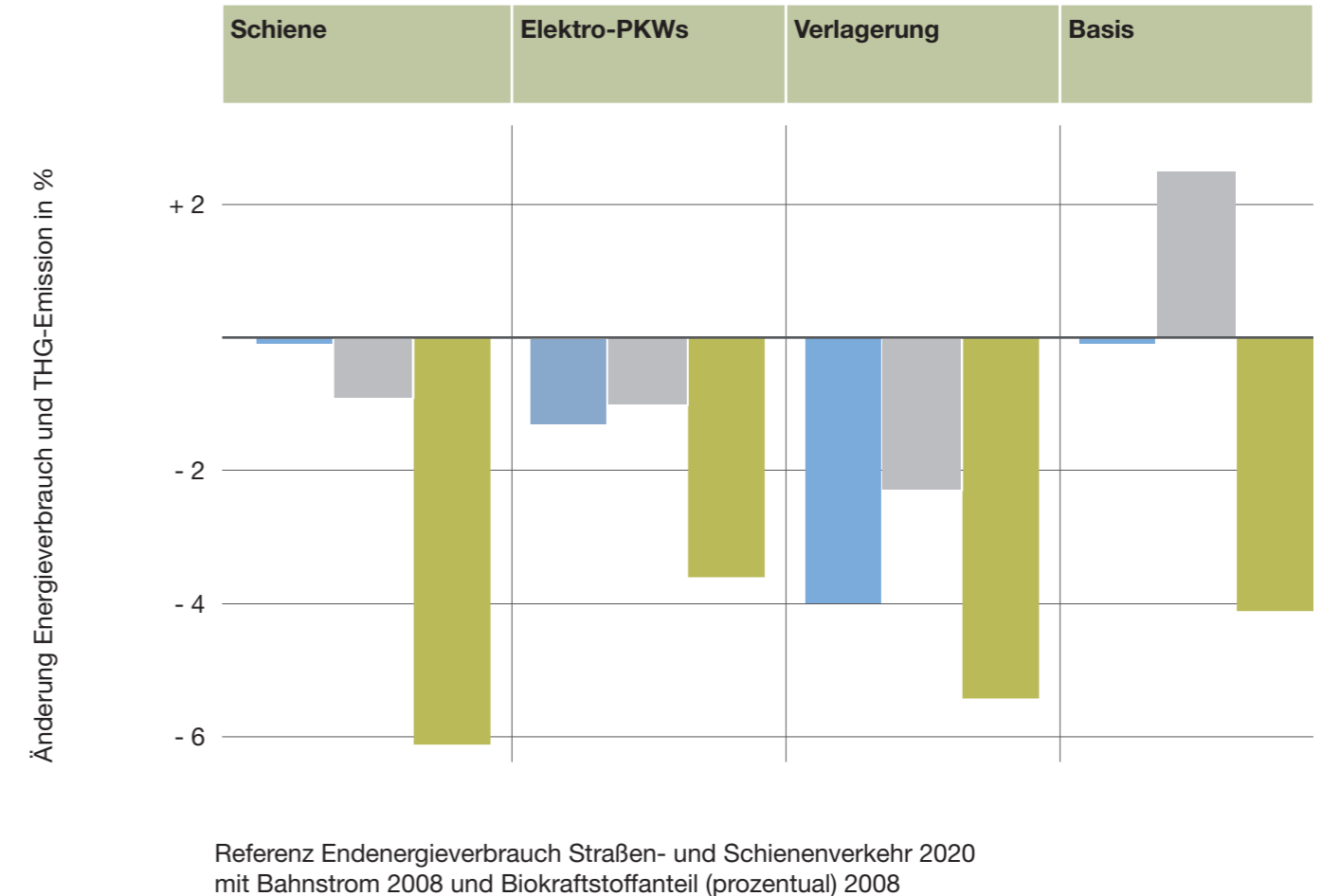


Abb. 7 Änderungen von End- und Primärenergiebedarf sowie der THG-Emissionen des Verkehrssektors in den Szenarien bezogen auf ein Referenzszenario (Endenergieverbrauch im Straßen- und Schienenverkehr 2020 [31] mit Bahnstrom 2008 [40] und Biokraftstoffanteil (prozentual) 2008 [5])

4 Szenarienanalyse

In Tab. 6 sind weitere Kombinationsmöglichkeiten der Entwicklungsaspekte Elektromobilität, Schienenverkehr und Biokraftstoffe gegenübergestellt. Beim Maximalszenario wäre eine THG-Einsparung von etwa 10,9% erreichbar, der ein Einsparpotenzial von 10,0% THG-Emissionen (g CO₂-Äquiv.) im Szenario ohne Elektro I gegenübersteht, wobei jeweils nahezu die Hälfte des 10%-Ziels durch den Schienenverkehr abgedeckt werden könnte. Abgesehen von der umfangreichen Verlagerung von Straßenpersonen- und -güterverkehr auf die Schiene ist eine Bereitstellung von 100% regenerativem Strom bei der Deutschen Bahn bis 2020 allerdings als äußerst unwahrscheinlich anzunehmen. In Abhängigkeit davon, in welchem Umfang eine Verlagerung stattfindet, kann der Schienenverkehr 2020 daher etwa 1,0 bis 1,4% erneuerbare Energie im Verkehrssektor erreichen.

Ein Anteil von fünf Millionen Elektrofahrzeugen im Bereich des motorisierten Individualverkehrs ist für 2020 als kaum realisierbar anzusehen. Gemäß der EU-Richtlinie ist für den Anteil der Elektromobilität der nationale oder der europäische Strommix anzusetzen, wobei für eine sachliche Betrachtung in dieser Studie nur der deutsche Strommix verwendet wird. Dem entsprechend ist der durch Elektromobilität im Straßenverkehr erreichbare Anteil erneuerbarer Energie im Verkehrssektor 2020 unwesentlich und kann vernachlässigt werden. Infolge der Bemühungen bei Politik und Industrie kann jedoch nach 2020 von einem weiter steigenden Anteil der Elektromobilität ausgegangen werden (s. 2.2).

Der verbleibende und entscheidende Anteil des 10%-Ziels ist somit durch die Biokraftstoffe zu realisieren, die bereits 2008 einen Anteil von fast 6% des Kraftstoffverbrauchs in Deutschland ausmachen.

Im Referenzszenario der Studie „Modell Deutschland“ [31], welches die Basis der analysierten Szenarien darstellt, wird eine kontinuierliche Trendfortschreibung beispielsweise in der Technologieentwicklung in Verbindung mit Effizienzsteigerung bzw. Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge sowie dem Ausbau erneuerbarer Energien und dem Ausstieg aus der Kernenergie unterstellt. Abweichend von dieser grundsätzlichen Annahme kann sich der gesamte Endenergiebedarf 2020 im Schienen- und Straßenverkehr aufgrund von

- Vermeidung von Verkehrsleistung,
- Effizienzsteigerung durch Verlagerung von Verkehrsleistung zwischen den Verkehrsträgern und
- Effizienzsteigerung durch verstärkte technische Weiterentwicklung

auch deutlich geringer darstellen. Dementsprechend würden sich dann die drei Aspekte Schienenverkehr, Elektromobilität und Biokraftstoffe (bei gleich bleibenden absoluten Anteilen) entsprechend stärker auf das Gesamtergebnis „Anteil erneuerbare Energie im Verkehrssektor“ auswirken. Geht der Verbrauch eines Pkw von durchschnittlich 8,3 l/100 km (2005) auf beispielsweise 6,0 statt 6,7 l/100 km (2020) zurück, so erreichen im Szenario B die Elektrofahrzeuge einen Anteil von 1,59 statt 1,54% und der Schienenverkehr von 1,00 statt 0,97%.

Szenario	Strommix		Elektro-PKW		Bahnstrom-Mix		Verlagerung	Biokraftstoffe	THG-Minderung
	2020	EE	1 Mio.	5 Mio.	2020	EE			
Schiene	X		X			X			
	0,1%				3,2%			6,7%	6,1%
Elektro		X		X	X				
	1,5%				1,0%			7,5%	3,6%
Verlagerung		X	X		X		X		
	0,3%				1,4%			8,3%	5,4%
Basis**	X		X		X				
	0,1%				1,0%			11,3%	4,1%
Maximum		X		X		X	X		
	1,6%				4,7%			3,7%	10,9%
ohne Elektro 1	X		*			X	X		
	0,0%				4,6%			5,4%	10,0%
ohne Elektro 2	X		*		X		X		
	0,0%				1,4%			8,6%	5,3%

* prognostiziert 350 Tsd. Elektrofahrzeuge und Plug-in-Hybriden (Quelle: Modell Deutschland, 2009)

** Summe EE > 10%

5 Gesamtbewertung und Handlungsempfehlungen

Laut Richtlinie zur „Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ soll jeder EU-Mitgliedsstaat gewährleisten, dass der Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen bei allen Verkehrsträgern im Jahr 2020 mindestens 10% seines Endenergieverbrauchs im Straßen- und Schienenverkehr entspricht und vor diesem Hintergrund einen Aktionsplan erstellen. Ziel der vorliegenden Kurzstudie war es, Szenarien mit verschiedenen Entwicklungsschwerpunkten zur Erfüllung dieses 10% Ziels zu rechnen.

Ableitend aus den Ergebnissen der Szenarienanalyse lassen sich folgende Kernaussagen zusammenfassen: Schienenverkehr. Im Rahmen der in dieser Studie betrachteten Entwicklungsszenarien erreicht der Schienenverkehr einen Anteil von 1,0% erneuerbarer Energie im Verkehrssektor bzw. 1,4% bei einer umfangreichen Verlagerung von Straßenverkehr auf die Schiene bzw. 3,2% bei einem Betrieb mit Strom aus 100% regenerativer Energie. Daher ist eine möglichst hohe Ausnutzung der Kapazitäten des Schienenverkehrs bei gleichzeitiger Steigerung des Anteils von erneuerbarer Energien im Strommix/ Bahn-Strommix respektive von Diesel substituierenden Biokraftstoffen anzustreben. Auf der Schiene können Verkehrsleistungen sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr deutlich energieeffizienter als im Straßenverkehr realisiert werden. Mit steigender Verlagerung bei gleichbleibender Gesamtverkehrsleistung nimmt daher der Anteil des Schienenverkehrs am gesamten Endenergieverbrauch im Straßen- und Schienenverkehr überproportional zu.

Der Schienenverkehr kann angetrieben mit 30% regenerativem Strom 2020 lediglich 1% erneuerbare Energie im Verkehrssektor erreichen. Dieser Anteil kann durch eine signifikante Verlagerung von Straßenverkehr auf die Schiene noch erhöht werden. Für die Mobilisierung der vorhandenen Kapazitätsreserven im Schienenverkehr bedarf es gezielter infrastruktureller Entwicklungs- und Ausbaumaßnahmen.

Elektromobilität. Die Elektromobilität kann bis 2020 einen Anteil von 0,1% erneuerbarer Energie im Verkehrssektor bzw. maximal 1,5% bei 5 Mio. Elektrofahrzeugen, betrieben mit 100% Strom aus regenerativer Energie, erreichen. Ein verstärkter Ausbau der Elektromobilität sollte ausschließlich in Verbindung mit einer beschleunigten Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien im Stromsektor erfolgen. Zudem ist zu identifizieren, welchen Einfluss unter anderem die Vorkette der Elektrofahrzeuge auf die Gesamtbilanz der gefahrenen Kilometer hat, vor allem im Hinblick auf die Batterien.

Eine Million Elektrofahrzeuge, angetrieben mit 35% regenerativem Strom, erreichen 2020 einen Anteil von nur 0,1% erneuerbarer Energie im Verkehrssektor und sind damit für das Erreichen des 10%-Ziels nicht von Bedeutung. Biokraftstoffe. Wie die Ergebnisse der Szenarienanalyse zeigen, kann der wesentlichste Teil des 10% Ziels nur mit Hilfe der Biokraftstoffe realisiert werden. Dabei werden aus gegenwärtiger Sicht bis zum Jahr 2020 maßgeblich konventionelle Biokraftstoffe wie Biodiesel und Bioethanol sowie in geringem Umfang HVO und Biomethan eine Rolle spielen; zukünftige Biokraftstoffe wie Bioethanol und synthetische Biokraftstoffe auf Basis von Lignocellulose (z.B. BTL) aus kommerziellen großtechnischen Anlagen sind nicht in marktrelevanten Mengen zu erwarten. In Abhängigkeit von verschiedenen Rahmenbedingungen wird sich der Biodieselbedarf auch bei einem Biokraftstoffanteil von 11,3% entsprechend der aktuellen Quotenregelung in Verbindung mit einer 60%igen Treibhausgasminde- rung kaum verändern. Der Bioethanolbedarf wird sich hingegen mehr als verdoppeln. Die in dieser Studie für 2020 angesetzte Minderung von produktionsbedingten Treibhausgasemissionen um 60% bei Biokraftstoffen gegenüber fossilen Kraftstoffen könnte im Rahmen der durch die Richtlinie zur „Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ eingeführten Zertifizierung sichergestellt werden.

Zusammenfassend lassen sich folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

- Verlagerung von Straßenverkehr auf die Schiene durch Schaffung der hierfür nötigen u. a. infrastrukturellen Voraussetzungen
- Maximierung des Anteils erneuerbarer Energien im anzurechnenden Strommix für Schienen- und Straßenverkehr, auch hinsichtlich einer bestmöglichen Treibhausgasbilanz
- Bereitstellung nachhaltig produzierter Biokraftstoffe bei gleichzeitiger Forcierung vielversprechender zukünftiger Biokraftstoffe

Vertiefend zu den Ergebnissen dieser Kurzstudie sind neben den aus heutiger Sicht abschätzbaren Effekten aus Klimaschutzsicht und beim Energieverbrauch ebenso ökonomische Aspekte und die Auswirkungen der Szenarien in einem längerfristigen Zeithorizont zu untersuchen, um ein gesamtheitliches Bild zur Erreichung des o. g. Ziels aufzeigen zu können. Zudem ist die Wechselwirkung mit weiteren energie- und klimapolitischen Zielen (z.B. in anderen Sektoren wie Strom und Wärme, Effizienzsteigerungen, Reduzierung des spezifischen Flottenemissionsausstoßes von Fahrzeugen) weiterführend zu untersuchen.

Unabhängig von der Zielstellung dieser Studie, die Erreichung des Mindestziels von 10% erneuerbaren Energien im Verkehrssektor bis 2020 zu analysieren, sind mit Blick auf längere Zeithorizonte die Verkehrs- und Endenergieträger differenziert zu betrachten und hinsichtlich eines effizienten Einsatzes fossiler sowie erneuerbarer Energien zu optimieren. Neben dem Primärenergieverbrauch spielt hier vor allem die Treibhausgasbilanz eine entscheidende Rolle.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Strukturplan	6
Abb. 2	Kraftstoffverbrauch (Otto-, Diesel- und Biokraftstoffe) 2008 in Deutschland (in Volumenprozent), eigene Berechnung DBFZ auf Basis BMU 2009 [5]	10
Abb. 3	Endenergieverbrauch im Verkehr in PJ für Deutschland 2020 [1] [7] [21] [29] [31]	14
Abb. 4	Prognose der Stromerzeugung in Deutschland 2020 [1]	15
Abb. 5	Methodik der Szenarienanalyse	17
Abb. 6	Kraftstoffverbrauch (Otto-, Diesel- und Biokraftstoffe) 2020 in Deutschland (in Volumenprozent)	19
Abb. 7	Änderungen von End- und Primärenergiebedarf sowie der THG-Emissionen des Verkehrssektors in den Szenarien bezogen auf ein Referenzszenario (Endenergieverbrauch im Straßen- und Schienenverkehr 2020 [31] mit Bahnstrom 2008 [40] und Biokraftstoffanteil (prozentual) 2008 [5])	23

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Kurzübersicht aktuelle Biokraftstoffoptionen, DBFZ	8
Tab. 2	Biokraftstoffverbrauch in Deutschland 2008, eigene Berechnung DBFZ auf Basis BMU 2009 [5]	11
Tab. 3	THG-Emissionen Stromerzeugung 2008 und 2020 [29] in g CO ₂ -Äquivalent/kWhend	15
Tab. 4	Biokraftstoffverbrauch in Deutschland 2020	20
Tab. 5	Referenzszenario 2020, Endenergiebedarf und THG-Emissionsfaktoren, RENEWBILITY [29] und eigene Berechnungen DBFZ auf Basis BMU 2009 [5] und Modell Deutschland 2009 [31]	22
Tab. 6	Möglichkeiten der Verteilung von 10% EE im Verkehrssektor	24

Literatur- und Referenzverzeichnis

- [1] BMU/ BMELV: Roadmap Biokraftstoffe, Gemeinsame Strategie von BMU/BMELV, VDA, MWV, IG, VDB und DBV, Stand 14.11.2007
- [2] BMWi, BMVBS, BMU, BMBF, BMELV: Auszug aus dem Bericht an den Haushaltsausschuss Konjunkturpaket II, Ziffer 9 Fokus "Elektromobilität", 10.03.2009
- [3] Bockey, Dieter: Rohstoffpotenziale für die Produktion von Biodiesel – eine Bestandaufnahme, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP), 2006
- [4] Bundesministerium für Bildung und Forschung, Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik: Verbundprojekt Biogaseinspeisung, 2009
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien in Zahlen – Internet-Update ausgewählter Daten, Berlin, Dezember 2009
- [6] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland – Leitszenario 2009, 2008
- [7] Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.: Wege in die moderne Energiewirtschaft - Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche, Teil 3: Verkehr 2020. Oktober 2008
- [8] Deutscher Bundestag: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), In der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), Zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723)
- [9] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix - Handlungsbedarf und Lösungsansätze für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr, 2010
- [10] Die Bundesregierung: Magazin für Wirtschaft und Finanzen, 09/ 2009
- [11] Die Bundesregierung: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, August 2009
- [12] Die Bundesregierung: Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen vom 27. Januar 2009 (BGBl. I S. 123), 10. BImSchV vom 27.01.2009
- [13] Die Bundesregierung: Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung- Biokraft-NachV) vom 30.09.2009
- [14] Die Welt: Entwicklung von Elektroautos dauert noch Jahre, 17. Januar 2010
- [15] Energie & Management: Berlin macht elektromobil, 01. Februar 2010
- [16] Energie & Management: TÜV testet Batterien, 01. Februar 2010
- [17] Europäische Union: RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, 2009
- [18] Europäische Union: RICHTLINIE 2003/30/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor, 2009
- [19] Europäische Union: VERORDNUNG (EG) Nr. 599/2009 DES RATES vom 7. Juli 2009 zur Einführung eines endgültigen Antidumpingzolls und zur endgültigen Vereinnahmung des vorläufigen Zolls auf die Einfuhren von Biodiesel mit Ursprung in den Vereinigten Staaten von Amerika, 2009
- [20] Europäische Union: VERORDNUNG (EG) Nr. 598/2009 DES RATES vom 7. Juli 2009 zur Einführung eines endgültigen Ausgleichszolls und zur endgültigen Vereinnahmung des vorläufigen Zolls auf die Einfuhren von Biodiesel mit Ursprung in den Vereinigten Staaten von Amerika, 2009
- [21] European Commission: European Energy and Transport, TRENDS TO 2030 - UPDATE 2007, Directorate-General for Energy and Transport, 2008
- [22] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Biokraftstoffe – Eine vergleichende Analyse, 2009
- [23] Fritsche, Uwe R., Wiegmann, Kirsten: Treibhausgasbilanzen und kumulierter Primärenergieverbrauch von Bioenergie-Konversionspfaden unter Berücksichtigung möglicher Landnutzungsänderungen, Expertise im Auftrag des WBGU, Öko-Institut, Darmstadt 2008
- [24] Hinrichs-Rahlwes, Rainer, Pieprzyk, Björn: Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche für Deutschland, Bundesverband Erneuerbare Energie e.V., 2009
- [25] International Energy Agency: Sustainable Production of SECOND -Generation Biofuels Potential and perspectives in major economies and developing countries, 2010
- [26] Intraplan Consult, BMVBS: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025, München 2007
- [27] Kampman, Bettina, Leguijt, Cor, Bennink, Dorien, Wielders, Lonneke, Rijkee, Xander, de Buck, Ab, Braat, Willem: Give way to green driving – Development of policy recommendations to harvest the potential of electric vehicles, CE Delft, 2009
- [28] Kaltschmitt, M. & Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001
- [29] Öko-Institut e.V.: RENEWABILITY „Stoffstromanalyse nachhaltige, Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“, 2009
- [30] Ökoinstitut e.V.: Vorfahrt für den Klimaschutz - Konzepte für nachhaltige Mobilität, eco@work, Januar 2010
- [31] Öko-Institut e.V., Prognos AG: Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, Auftraggeber WWF Deutschland, 2009
- [32] Pehnt, Martin, Höpfner, Ulrich: Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien: Analyse der kurz- und mittelfristigen Perspektive, Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu), Kurzgutachten i. A. des BMU, 2009
- [33] Prognos AG, EWI: Energieszenarien für den Energiegipfel 2007
- [34] Protrans: Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050, im Auftrag des BMVBS, 2007
- [35] Spath, Dieter: Wie Deutschland zum Leitanbieter für marktfähige Elektromobilität werden kann, Vortrag beim Forum Nachhaltige Konzepte für die elektromobile Stadt der Zukunft am 21. Januar 2010
- [36] Statistisches Bundesamt Deutschland: Güterverkehr 2009: Starker Rückgang des Transportaufkommens um 11,2%, Pressemitteilung Nr.030 vom 21.01.2010
- [37] Statistisches Bundesamt Deutschland: Schienengüterverkehr 2009: Transportrückgang um 15,9%, Pressemitteilung Nr.080 vom 05.03.2010
- [38] Statistisches Bundesamt Deutschland: 2009: Mehr Fahrgäste mit Bussen und Bahnen, aber weniger Fluggäste, Pressemitteilung Nr.014 vom 14.01.2010
- [39] Weigand, Werner: Mehr Kapazität für den Schienenverkehr – Reicht das bestehende Streckennetz aus?, Eisenbahntechnische Rundschau, 12/ 2009
- [40] http://www.deutschebahn.com/site/bahn/de/nachhaltigkeit/umwelt/umwelt__ueberblick/umwelt__ueberblick.html
- [41] <http://www.peugeot.de/showrooms/index.php?special=showroom-peugeot-ion>
- [42] <http://www.renault-ze.com/de/>
- [43] <http://www.elektroauto-forum.de/>
- [44] http://www.saena.de/Aktuelles/Veranstaltungen/Veranstaltungsdetailseite.html?term_id=182



Der WWF Deutschland ist Teil des World Wide Fund For Nature (WWF) – einer der größten unabhängigen Naturschutzorganisationen der Welt. Das globale Netzwerk des WWF ist in mehr als 100 Ländern aktiv. Weltweit unterstützen uns rund fünf Millionen Förderer. Der WWF will der weltweiten Naturzerstörung Einhalt gebieten und eine Zukunft gestalten, in der Mensch und Natur in Harmonie leben.

Deshalb müssen wir gemeinsam

- die biologische Vielfalt der Erde bewahren,
- erneuerbare Ressourcen naturverträglich nutzen und
- die Umweltverschmutzung verringern und verschwenderischen Konsum eindämmen.

WWF Deutschland

Reinhardtstraße 14
10117 Berlin

Tel.: 030 308742-0
Fax: 030 308742-50
E-Mail: info@wwf.de
www.wwf.de