

Renews Spezial

Ausgabe 71 / März 2014

Hintergrundinformation
der Agentur für Erneuerbare Energien

Energiewende im Verkehr

Potenziale für
erneuerbare Mobilität

Autoren:

Tilman Hohenberger, Jörg Mühlenhoff
Stand: März 2014

Herausgegeben von:

**Agentur für Erneuerbare
Energien e. V.**

Invalidenstr. 91
10115 Berlin

Tel.: 030-200535-3

Fax: 030-200535-51

kontakt@unendlich-viel-energie.de

ISSN 2190-3581

Unterstützer:

Bundesverband Erneuerbare Energie
Bundesverband Solarwirtschaft
Bundesverband WindEnergie
GtV - Bundesverband Geothermie
Bundesverband Bioenergie
Fachverband Biogas
Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen
Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie

Gefördert durch:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Inhalt

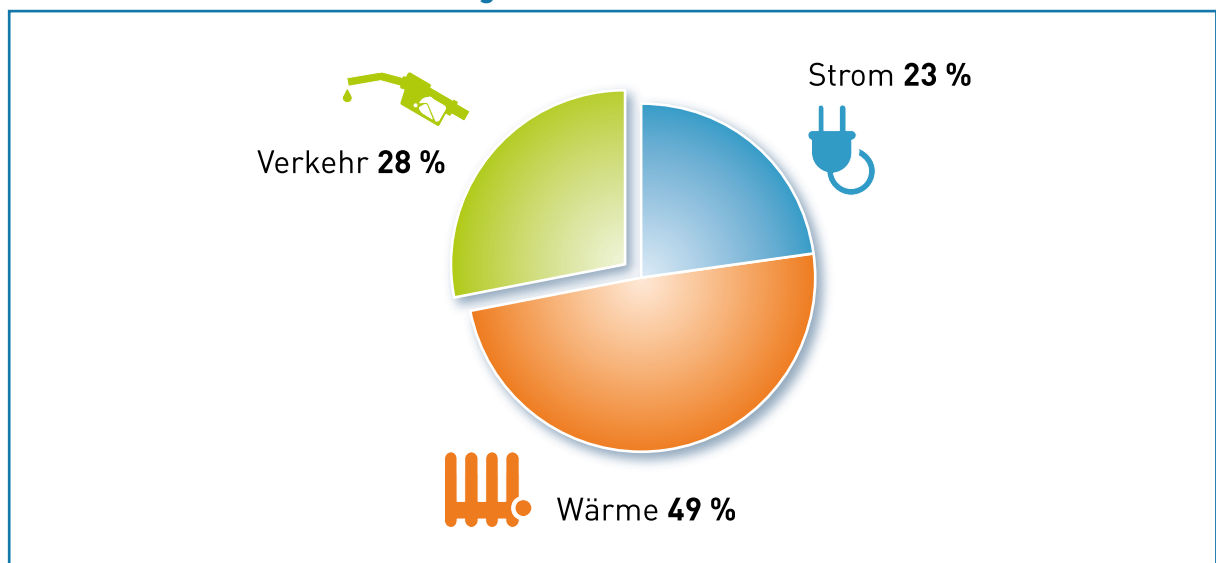
• Warum die Energiewende auch den Verkehr betrifft	4
– Versorgungssicherheit durch eine Energiewende im Verkehr	4
– Klimaschutz durch eine Energiewende im Verkehr	5
– Handlungsdruck durch die zukünftig erwartete Verkehrsentwicklung	6
• Energieverbrauch des Verkehrs in Deutschland	8
– Energieverbrauch im Verkehrssektor	9
– Spezifischer Energieverbrauch der Verkehrsmittel	11
– Treibhausgasemissionen der Verkehrsmittel	12
• Welche Chancen für die Energiewende bei welchen Verkehrsmitteln?	15
– Fuß- und Fahrradverkehr	15
– Busverkehr	19
– Straßen- und U-Bahnen	23
– Pkw-Verkehr	26
– Lkw-Verkehr	44
– Schienenverkehr	48
– Luftverkehr	53
– Binnenschifffahrt	58
• Zusammenfassende Bewertung	63
– Große strukturelle Hemmnisse ...	63
– ...und ebenso hohe psychologische Hürden für eine Energiewende im Verkehr	63
– Effizienz und Erneuerbare Energien müssen sich ergänzen	64
– Biokraftstoffe sind vorerst einzige Alternative zu Erdöl...	65
– ...mit relevantem, aber begrenztem Potenzial	65
• Ausblick	67
– Personenverkehr: Einsparen, verlagern, elektrifizieren	67
– Güterverkehr: Verlagern und Biokraftstoffe nutzen	68
– Potenziale Erneuerbarer Energien im Verkehr bis 2030	68
– Chancengleichheit durch wahre Preise	70
• Glossar	71
• Quellen	76

Warum die Energiewende auch den Verkehr betrifft

Die Diskussion um eine „Energiewende“ ist nicht neu. Schon vor den Ölkrisen der 1970er Jahre thematisierten Wissenschaft und kritische Öffentlichkeit die Endlichkeit der fossilen Energieträger. Mit dem wachsenden Bewusstsein für die Ursachen des Klimawandels und der Ablehnung der Atomenergie rückte der Umbau der Energieversorgung, hin zu einem sparsameren Verbrauch auf Basis Erneuerbarer Energien, in den Mittelpunkt der gesellschaftlichen Auseinandersetzung. So setzt das Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 das Ziel fest, den Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch bis 2050 auf 60 Prozent zu erhöhen und den Primärenergieverbrauch bis dahin um 50 Prozent zu senken.

Eine Energiewende ruht also auf zwei Säulen: Erneuerbare Energien und Effizienzsteigerung. Je stärker der Energieverbrauch zurückgeht, umso schneller kann ein vollständiger Umstieg auf Erneuerbare Energien gelingen, weshalb das Vermeiden von Verkehr und damit verbundenem Energieverbrauch zu einer Energiewende gehört. Zwar wird dieser Strukturwandel unserer Energieversorgung medial vor allem in Bezug auf den Stromverbrauch diskutiert. Ebenso wichtig ist jedoch der Umbau der Energieversorgung beim Wärmeverbrauch sowie beim Energiebedarf des Verkehrssektors. Denn während der Bereich der Stromversorgung nur rund 20 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs Deutschlands ausmacht, fallen rund die Hälfte des Energieverbrauchs im Wärmebereich sowie rund 30 Prozent im Verkehrssektor an.

Anteil des Verkehrs am Endenergieverbrauch 2012

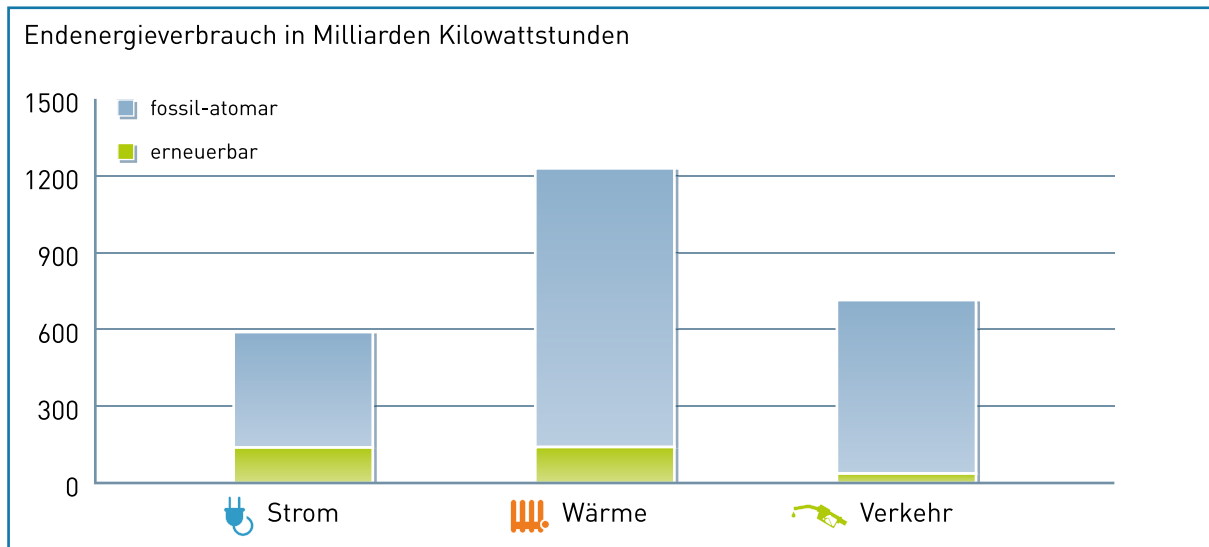


Quelle: AG Energiebilanzen, AGEE-Stat, eigene Schätzung, Stand: 10/2013

Versorgungssicherheit durch eine Energiewende im Verkehr

Der schrittweise Ersatz von Atom- und Kohlekraftwerken durch Windenergie-, Photovoltaik- und andere Erneuerbare-Energien-Anlagen stellt nur einen kleinen Ausschnitt der Energiewende dar. Der mobilitätsbedingte Energieverbrauch ist nicht nur höher, sondern auch in noch größerem Maße als der Strom- und Wärmeverbrauch von fossilen Energieträgern abhängig.

Erneuerbare Energien im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor 2012



Quelle: AG Energiebilanzen, AGEE-Stat, eigene Schätzung, Stand: 10/2013

Ein weiterer Grund für eine Energiewende im Verkehrssektor ist daher das Ziel, fossile Energieimporte zu reduzieren. Damit soll mehr Unabhängigkeit von den Erdöl-Exporteuren erreicht und die langfristige Versorgungssicherheit verbessert werden. Fossile Brennstoffimporte belasten die Volkswirtschaft: Im Jahr 2012 belief sich der Wert der Kohleimporte nach Deutschland auf 3,8 Milliarden Euro, die Erdgasimporte auf 30 Mrd. Euro und die Erdölimporte auf 67,5 Mrd. Euro. Dabei konnten durch den Einsatz Erneuerbarer Energien im Verkehrssektor rund 1,2 Mrd. Euro Kosten für fossile Brennstoffimporte (Bruttoimportkosten) eingespart werden.

Die EU hat vor diesem Hintergrund im Rahmen ihrer Zielsetzungen für den Ausbau Erneuerbarer Energien 2009 auch ein Teilziel für die im Verkehr verbrauchte Energie aufgestellt. Bis zum Jahr 2020 sollen EU-weit zehn Prozent der im Verkehrssektor verbrauchten Energie aus erneuerbaren Quellen stammen. Dieses Ziel kann neben *Biokraftstoffen** z.B. durch erneuerbaren Strom in Elektrofahrzeugen und Eisenbahnen erreicht werden. In Deutschland gilt das Mindestziel für Erneuerbare Energien im Verkehrssektor auch als nationales Ausbauziel.

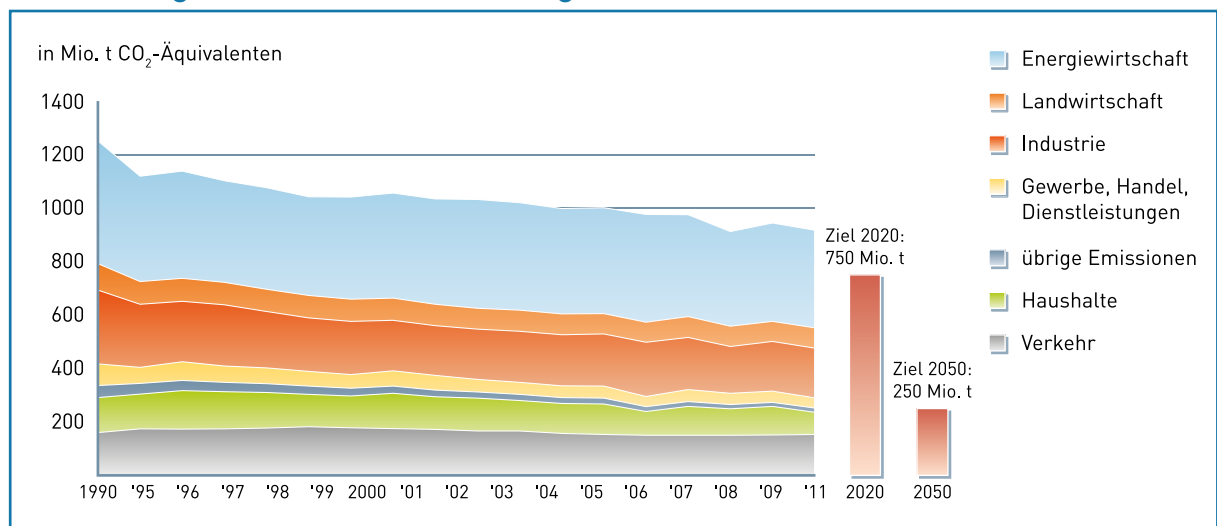
Klimaschutz durch eine Energiewende im Verkehr

Die internationale Staatengemeinschaft will die Erderwärmung bis 2050 auf maximal zwei Grad Celsius begrenzen und so die negativen Auswirkungen des Klimawandels dämpfen. Wird dieses Ziel nicht erreicht, drohen schwerwiegende unumkehrbare Schäden für Mensch, Umwelt und Wirtschaft. Wird eine Energiewende als grundlegende Umstellung auf eine erneuerbare und effiziente Energieversorgung verstanden, muss der Energieverbrauch für Mobilität – ob mit Pkw, Lkw, Bus, Bahn, Schiff oder Flugzeug – mit einbezogen werden. Die Treibhausgasemissionen durch den fossilen Energieverbrauch des Verkehrssektors bilden damit ein zentrales Handlungsfeld, von dem der Erfolg der nationalen und globalen Klimaschutzziele abhängt.

Um das 2-Grad-Ziel erreichen zu können, müssen die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis 2020 im Verhältnis zum Referenzjahr 1990 um 40 Prozent auf ein Niveau von 750 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalenten gesenkt werden. Im Jahr 2012 lagen die Treibhausgasemissionen bei ca. 931 Mio. t. Der Treibhausgasausstoß des Verkehrssektors in Deutschland macht mit 153 Mio. t CO_2 -Äquivalente insgesamt rund 17 Prozent aller deutschen Treibhausgasemissionen im Jahr 2011 aus¹.

Während der gesamte Treibhausgasausstoß von 1990 bis 2012 um mehr als ein Viertel gesenkt werden konnte, stagnierten die Emissionen im Verkehrssektor. Konnten Energiewirtschaft, Haushalte sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungssektor ihre Emissionen um bis zu 50 Prozent zurückfahren, so gingen die Emissionen des Verkehrssektors im Zeitraum 1990 bis 2011 nur um 4 Prozent zurück. In den Statistiken sind allerdings die stark gestiegenen Treibhausgasemissionen des Flugverkehrs nicht einberechnet. In der gesamten EU stiegen die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors im gleichen Zeitraum sogar um 19,5 Prozent und würden bei Einberechnung des internationalen Flugverkehrs noch höher ausfallen.

Entwicklung der deutschen Treibhausgasemissionen und Reduktionsziele



Quelle: UBA, Stand: 2/2013

Der Verkehrssektor ist mit dem seinem massiven Verbrauch von fossilen Energieträgern außerdem verantwortlich für Umwelt- und Gesundheitsschäden durch den Ausstoß von Luftschadstoffen und Feinstaub. Eine grundlegende Umweltbelastung geht von der insbesondere mit dem Straßenverkehr, aber auch mit dem Flug- und Bahnverkehr verbundenen Lärmbelastung aus.

Handlungsdruck durch die zukünftig erwartete Verkehrsentwicklung

Neben den Kosten für den Import fossiler Energieträger macht das verbindliche Klimaschutzziel Deutschlands den Ausbau Erneuerbarer Energien und eine Steigerung der *Energieeffizienz* im Verkehrssektor notwendig. Umso dringlicher wird eine Energiewende im Verkehr, wenn der Blick in die Zukunft der Mobilität gerichtet wird: Der jahrzehntelange Trend zu einem vermehrten Verkehrsaufkommen im Personen- und Güterverkehr wird sich auch in Zukunft fortsetzen.

¹ Umweltbundesamt (UBA): Emissionen der Treibhausgase nach Sektoren. Dessau-Roßlau, Januar 2013.

Wie wird Mobilität gemessen und verglichen?

Um den Umfang von Mobilität zu bemessen, wird die Verkehrsleistung ermittelt. Die wichtigsten Einheiten zur Erfassung der Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr sind der *Personen-* und der *Tonnenkilometer (Pkm/tkm)*. Diese Größeneinheiten machen es möglich, Rückschlüsse auf den Umfang der Personen- und Güterbeförderung zu ziehen. Unabhängig vom Verkehrsmittel (Zweirad, Pkw, Lkw, Bahn,...) lässt sich der Umfang der Verkehrsleistung so vergleichen. Rechenbeispiel: Führt ein Auto mit zwei Personen eine Strecke von 5 Kilometern, werden insgesamt 10 *Personenkilometer* zurückgelegt, da zwei Personen jeweils 5 Kilometer zurückgelegt haben. Bei vier Fahrgästen auf der gleichen Strecke liegt die Verkehrsleistung dann bei 20 *Personenkilometern*. Gemessen wird die Strecke der transportierten Personen und Güter, nicht die gefahrene Strecke des Verkehrsmittels. Wird ein Gut mit einem Gewicht von einer Tonne von einem Lkw über eine Entfernung von 100 Kilometern transportiert, ergibt sich eine Verkehrsleistung von 100 *Tonnenkilometern*.

Immer mehr Menschen in Deutschland legen für Beruf, Einkauf und Freizeitgestaltung immer längere Distanzen zurück, was die Anzahl der *Personenkilometer* pro Kopf nach oben treibt. In Deutschland wurden 2010 insgesamt 1.193 Mrd. *Pkm* zurückgelegt.² Im Zeitraum 1995 bis 2011 stieg die Verkehrsleistung um 12 Prozent (ohne Fuß- und Fahrradverkehr). Die Verkehrsleistung des Güterverkehrs legte von 1995 bis 2012 sogar um 48 Prozent zu. Insgesamt wurden im Jahr 2012 in Deutschland 640 Mrd. *Tonnenkilometer* zurückgelegt.³

Die Verkehrsprognose des Bundesverkehrsministeriums aus dem Jahr 2007 erwartet für das Jahr 2025 angesichts steigender Mobilität und anhaltendem Wirtschaftswachstum eine deutliche Zunahme der Verkehrsleistung im Personenverkehr auf 1.368 Mrd. *Pkm* im Jahr 2025 (Anstieg um 17,9 Prozent gegenüber 2004). Die Deutschen würden demnach trotz demografischem Wandel häufiger und weiter fahren und wären vor allem öfter motorisiert, d.h. mit dem eigenen Pkw unterwegs. Der Güterverkehr steige deutlich stärker auf 937 *tkm*, vor allem aufgrund der Zunahme des dominierenden Straßenfernverkehrs mit Lkw.⁴ Zwar wurden angesichts des schwächeren Wirtschaftswachstums und konservativerer Annahmen die jährlichen Zuwachsraten der Verkehrsleistung aus der Verkehrsprognose von 2007 zwischenzeitlich deutlich reduziert.⁵ Dennoch ist mit einer weiteren Zunahme der zu befördernden Personen- und Gütermengen zu rechnen.

² Statistisches Bundesamt: Verkehr auf einen Blick. Wiesbaden, April 2013.

³ UBA: Daten zum Verkehr. Dessau-Roßlau, Oktober 2012, Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 2013 – Transport und Verkehr, Wiesbaden 2013.

⁴ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)/Beratergruppe Verkehr + Umwelt (BVU)/Intraplan Consult (ITP): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. Kurzfassung, München/Freiburg, November 2007.

⁵ Deutsche Energieagentur (Dena)/Verband der Automobilindustrie (VDA): Energieverbrauch und Energieträger im Straßenverkehr bis 2025. Berlin, April 2013.

Die Bundesregierung hat sich in ihrem Energiekonzept 2010 das Ziel einer Reduktion des Energieverbrauchs im Verkehrssektor bis 2020 um 10 Prozent gegenüber dem Jahr 2005 gesetzt.⁶ Unterschiedliche wissenschaftliche Szenarien von Bundesministerien, Forschungsinstituten und Umweltverbänden halten bei ambitioniertem Vorgehen einen Rückgang des Energieverbrauchs um 6 bis 14 Prozent bis 2020 für möglich.⁷ Damit wird die Dringlichkeit deutlich, die überwiegend fossile Energieversorgung unserer Mobilität grundsätzlich umzubauen und den Verbrauch zu senken.

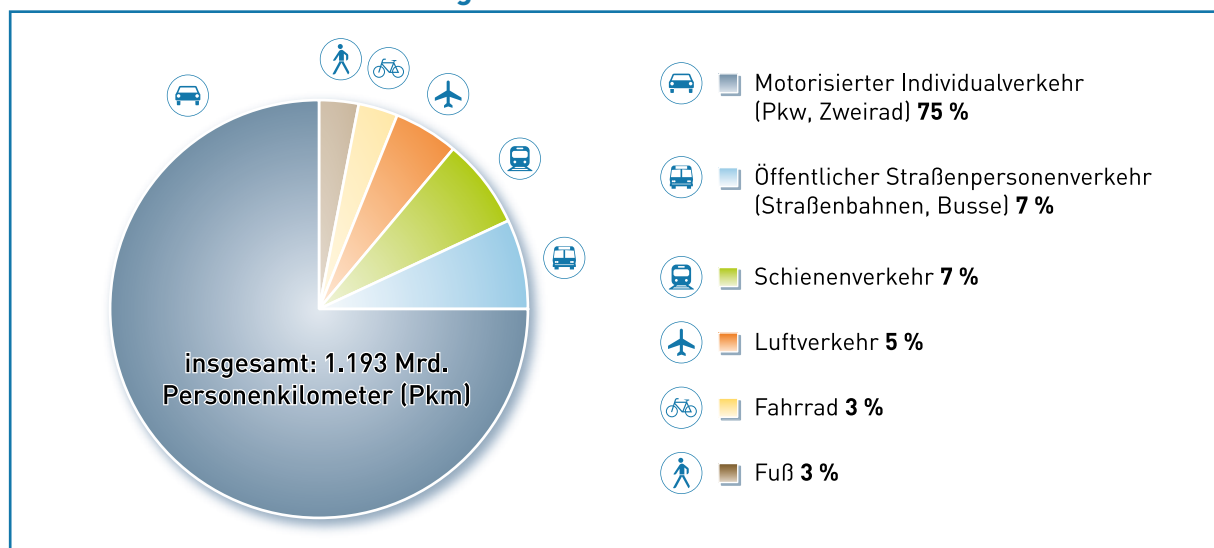
Das folgende Kapitel erklärt zunächst, in welchen Verkehrsstrukturen in Deutschland wie viel Energie verbraucht und wie viele Treibhausgase emittiert werden. Im nachfolgenden Kapitel sollen dann die unterschiedlichen Verkehrsmittel hinsichtlich einer Nutzung von Erneuerbaren Energien untersucht werden, ohne das gleichwertige Ziel der *Energieeffizienz* bzw. *Energieeinsparung* zu vernachlässigen.

Energieverbrauch des Verkehrs in Deutschland

Ohne Energie und Mobilität funktioniert nichts: keine Teilhabe am gesellschaftlichen Leben für Privatpersonen, Beschäftigte erreichen ihren Arbeitsplatz nicht. Das Rückgrat der Versorgung der Industrie mit Waren und Gütern würde fehlen. Die steigenden Mobilitätswünsche der Bürger und das im Zusammenhang mit der Globalisierung zunehmende Verkehrsaufkommen treiben Energieverbrauch und Verkehrsleistung in die Höhe.

Entscheidend für den Energiebedarf des Verkehrssektors ist, mit welchen Verkehrsmitteln wie viele Kilometer zurückgelegt werden – und wie viel Energie dabei vom jeweiligen Verkehrsmittel verbraucht wird. Sollen *Energieeffizienz* und Erneuerbare Energien gesteigert werden bzw. die Treibhausgasemissionen reduziert werden, muss zunächst die Bedeutung der unterschiedlichen Verkehrsmittel betrachtet werden. Welche Verbräuche in welchem Umfang eingespart und/oder durch welche erneuerbaren Energieträger ersetzt werden können, lässt sich dann besser abwägen.

Anteile an der Verkehrsleistung im Personenverkehr 2010



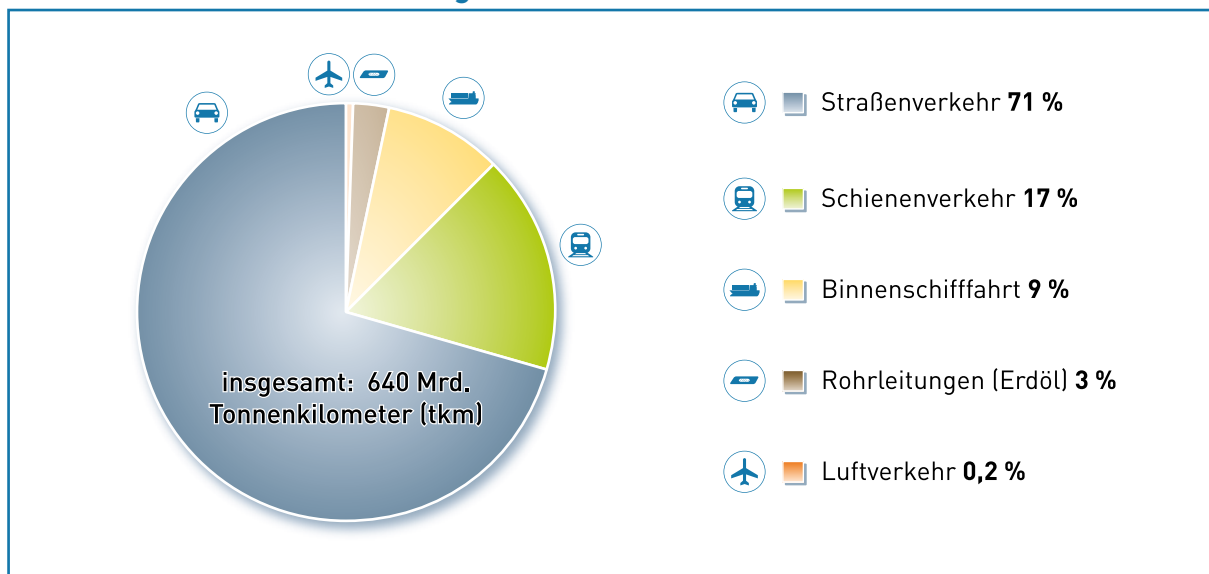
Quelle: Statistisches Bundesamt, Stand: 4/2013

⁶ BMVBS: Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS). Energie auf neuen Wegen. Berlin, Juni 2013.

⁷ World Wide Fund for Nature (WWF)/Öko-Institut/Prognos: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Basel/Berlin, Oktober 2009; Öko-Institut/Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)/Fraunhofer ISI: Renewability II. Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Berlin/Darmstadt/Freiburg/Karlsruhe, November 2012; DLR/Fraunhofer IWES/Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Stuttgart/Kassel/Teltow, März 2012.

Im Personenverkehr dominiert mit einem Anteil von drei Vierteln an der Verkehrsleistung der *motorisierte Individualverkehr*, d.h. vor allem der Pkw. Der teilweise elektrifizierte Schienenverkehr sowie Straßenbahnen als Teil des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs übernehmen im Vergleich dazu nur einen Bruchteil der Beförderung von Personen. Zwar wird rund jeder vierte Weg zu Fuß und fast jeder zehnte Weg mit dem Rad zurückgelegt. Weil bei dieser nicht-motorisierten Fortbewegung jedoch nur kurze Weglängen von durchschnittlich 1,4 km (Fußweg) bzw. 3,4 km (Weg mit dem Fahrrad) zurückgelegt werden, beläuft sich ihr Anteil an der Verkehrsleistung im Personenverkehr auf nur rund 6 Prozent.

Anteile an der Verkehrsleistung im Güterverkehr 2012



Quelle: Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 2013, Wiesbaden 2013

Auch der Güterverkehr wird zu fast drei Vierteln mit Lkw über die Straße abgewickelt. Güterzüge decken nur 17 Prozent der Verkehrsleistung des Güterverkehrs ab, gefolgt von der Binnenschifffahrt mit 9 Prozent.

Energieverbrauch im Verkehrssektor

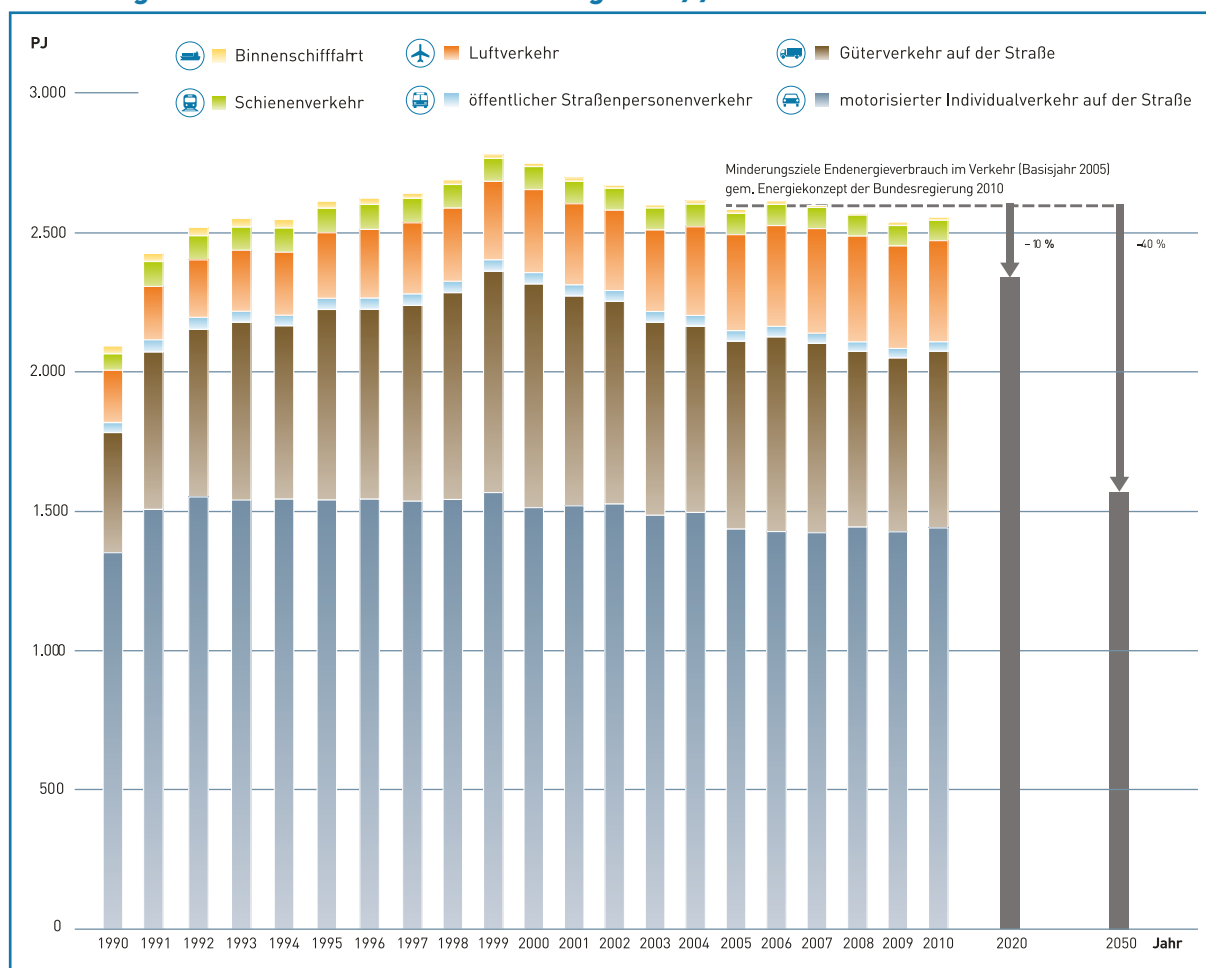
Infolge der Dominanz der Straße beim Personen- und Güterverkehr wird auch der größte Teil des Energieverbrauchs von Pkw und Lkw verursacht, d.h. von fossilen Diesel- und Ottokraftstoffen (ca. 18 Mio. t Benzin und 28 Mio. t Diesel sowie 3,8 Mio. t *Biokraftstoffe* im Jahr 2011). Rund 83 Prozent des gesamten Energieverbrauchs des Verkehrssektors erfolgen auf der Straße. Der Flugverkehr hat zwar nur geringe Anteile an der Verkehrsleistung des Personen- (5 Prozent) und Güterverkehrs (0,2 Prozent), verursacht mit seiner Kerosinnachfrage jedoch 13,5 Prozent des Energieverbrauchs im Verkehrssektor. Der Kraftstoff- und Stromverbrauch des Schienenverkehrs bzw. der Binnenschifffahrt sind dagegen zusammen für nur 3,4 Prozent des Energieverbrauchs verantwortlich.

Endenergieverbrauch der Verkehrsmittel in Deutschland 2011

	Verkehr 2011	Petajoule (PJ)	Mrd. kWh	Anteil
	Straßenverkehr	2.133	592,4	83,1 %
	Luftverkehr	347	96,3	13,5 %
	Schienenverkehr	76	21,0	2,9 %
	Binnenschifffahrt (einschl. Küstenschifffahrt)	13*	3,6	0,5 %
			713,3	

* Institut für Energie und Umwelt (IfEU)/TREMODO setzt abweichend mind. 22 PJ für 2011 an.

Endenergieverbrauch nach Verkehrsträgern 1990-2010

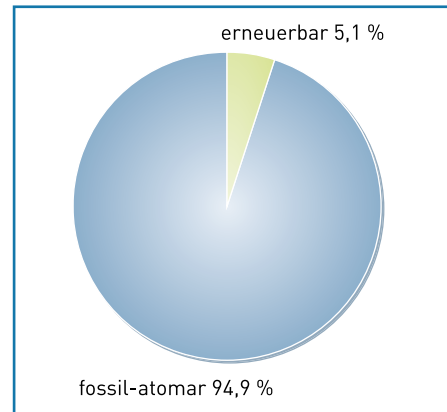


Quelle: Dena/VDA/IfEU, Stand: 4/2013

Fossile Kraftstoffe machten insgesamt 95 Prozent des gesamten Energieverbrauchs im Verkehr in Deutschland im Jahr 2012 aus. Nur 5 Prozent der Energieträger sind erneuerbar: *Biokraftstoffe*, die in Verbrennungsmotoren genutzt werden, sowie Strom aus Erneuerbaren Energien, der in Elektromotoren im Schienenverkehr zum Einsatz kommt.

Verbrauch von Energieträgern im Verkehrssektor in Deutschland 2011

Energieträger	PJ	Mrd. kWh	Anteil
Ottokraftstoff	788	219,0	30,7 %
Dieselmkraftstoff	1.224	340,0	47,7 %
Kerosin	346	96,1	13,5 %
Flüssiggas	24	6,6	0,9 %
Erdgas	9	2,4	0,3 %
Biokraftstoffe	117	32,5	4,6 %
Strom	60	16,6	2,3 %
davon Strom aus Erneuerbaren Energien		3,4	0,5 %
		713,3	

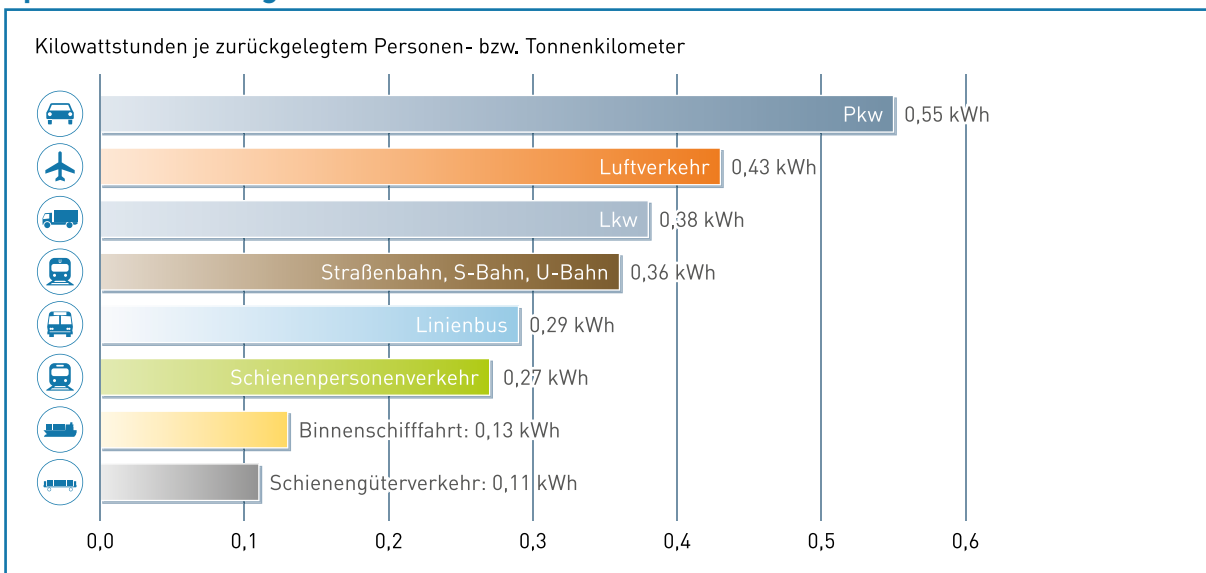


Quelle: AG Energiebilanzen 2013

Spezifischer Energieverbrauch der Verkehrsmittel

Der Straßenverkehr transportiert besonders viele Menschen und Güter über besonders lange Distanzen. Damit verursacht er seinen hohen Kraftstoffverbrauch. Dieser liegt nicht zuletzt auch deshalb so hoch, weil die Verkehrsmittel Pkw und Lkw im Vergleich zu alternativen Verkehrsmitteln wie der Binnenschifffahrt oder dem Schienenverkehr relativ hohe spezifische Energieverbräuche aufweisen. Für den Transport einer Person über eine Entfernung von einem Kilometer benötigt ein Pkw besonders viel Energie. Ebenso ist der Energieverbrauch eines Lkw je *Tonnenkilometer* relativ hoch.

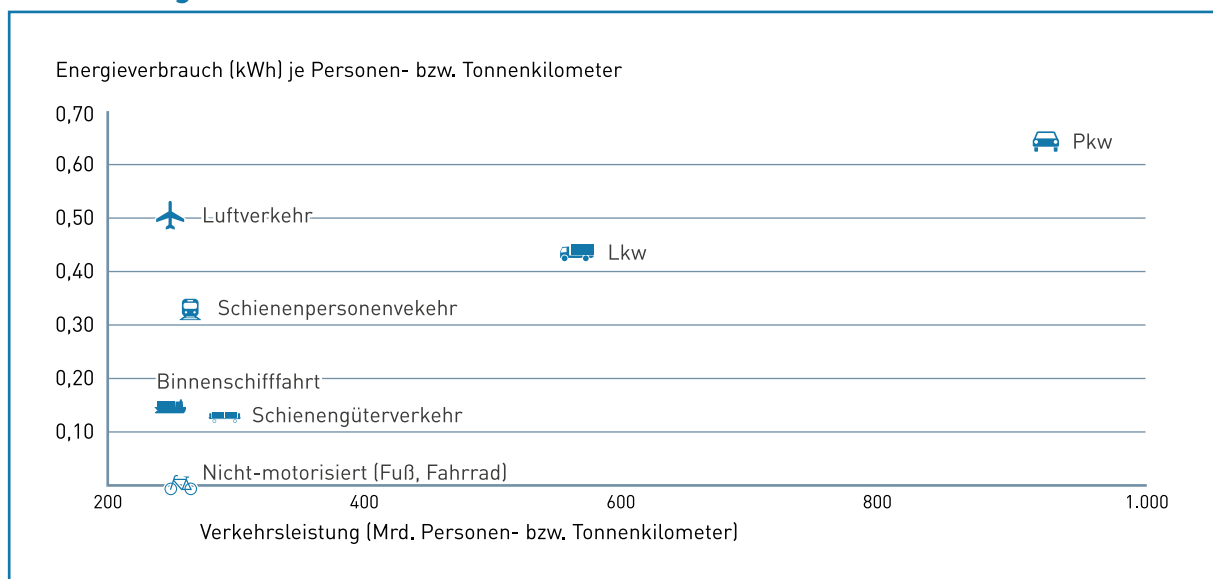
Spezifischer Energieverbrauch der Verkehrsmittel



Quelle: IfEU 2012, Stand: 11/2013

Flug- und Straßenverkehr weisen den höchsten spezifischen Energieverbrauch aus. Die eingesetzten Energieträger werden in diesen Verkehrsmitteln verhältnismäßig ineffizient genutzt. Damit decken ausgerechnet jene Verkehrsmittel die größten Anteile am Verkehrsaufkommen, die eine geringe *Energieeffizienz* je zurückgelegtem *Personen-* bzw. *Tonnenkilometer* aufweisen. Die nachfolgende Grafik zeigt diesen Zusammenhang: Auf der Straße, im motorisierten Individual- bzw. Güterverkehr mit Pkw bzw. Lkw, werden die mit Abstand meisten Personen bzw. Güter transportiert (über 900 Mrd. *Pkm* im Jahr 2011 bzw. über 450 Mrd. *tkm* im Jahr 2012). Die übrigen Verkehrsmittel verbrauchen weniger Energie je *Personen-* bzw. *Tonnenkilometer*, erbringen gleichzeitig aber auch eine geringere Verkehrsleistung. Der nicht-motorisierte Fuß- und Fahrradverkehr liegt hinsichtlich seines spezifischen Energieverbrauchs auf der Nulllinie, erbringt insgesamt jedoch auch nur eine geringe Verkehrsleistung von rund 70 Mrd. *Personenkilometern*.

Hoher Energieverbrauch und viele Kilometer mit Pkw und Lkw



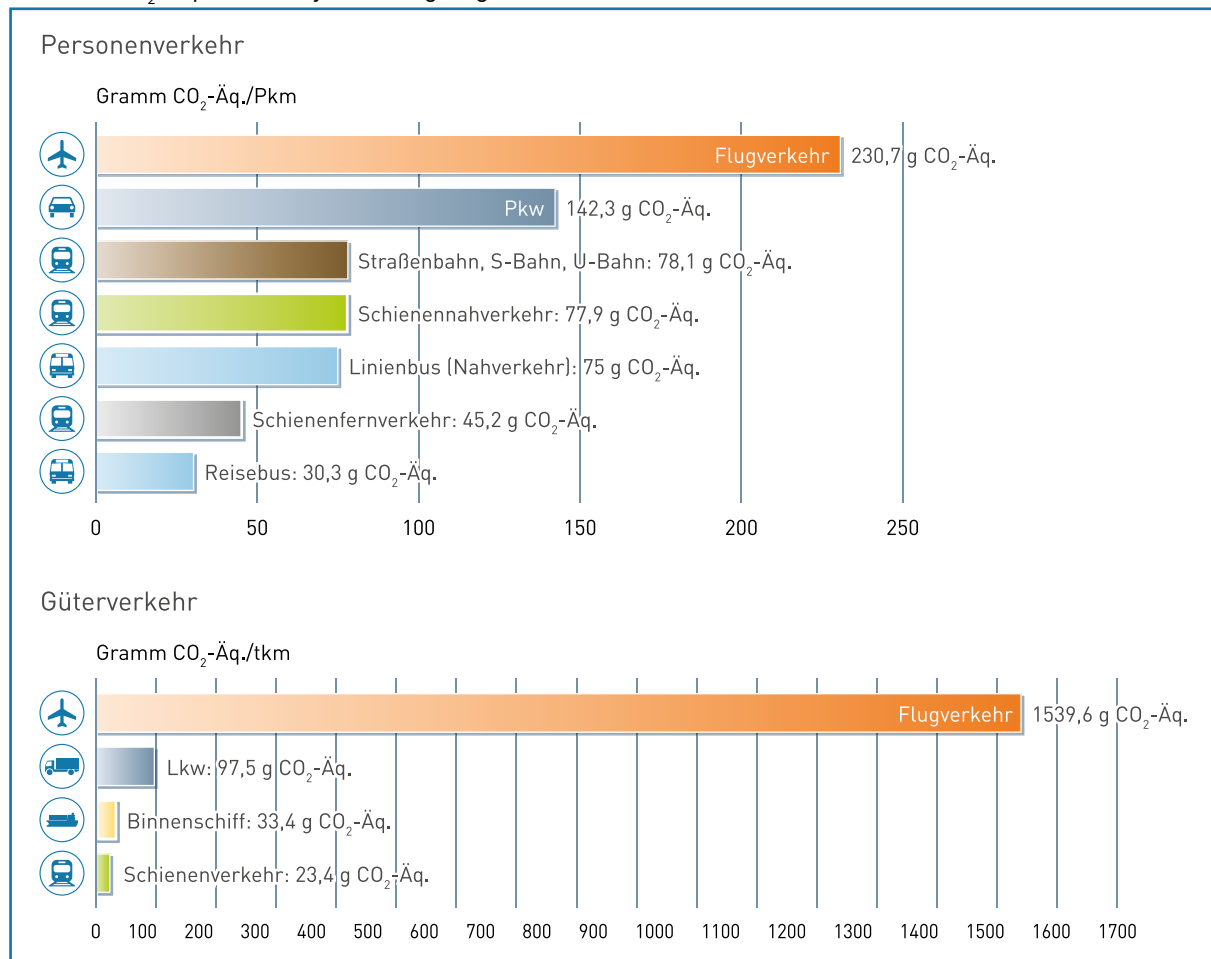
Quellen: IfEU/Statistisches Bundesamt/Dena, Stand: 11/2013

Spezifische Treibhausgasemissionen der Verkehrsmittel

Die im Verkehrssektor mit großem Abstand vorherrschenden Energieträger sind gleichzeitig die Energieträger mit der schlechtesten Klimabilanz. Abgesehen vom mit Kerosin betriebenen Flugzeug weisen die überwiegend mit fossilem Diesel- und Ottokraftstoff betriebenen Pkw und Lkw die höchsten Treibhausgasemissionen je zurückgelegtem *Personen-* bzw. *Tonnenkilometer* auf.

Treibhausgasemissionen unterschiedlicher Verkehrsmittel

(Gramm CO₂-Äquivalente je zurückgelegtem Personen- bzw. Tonnenkilometer)

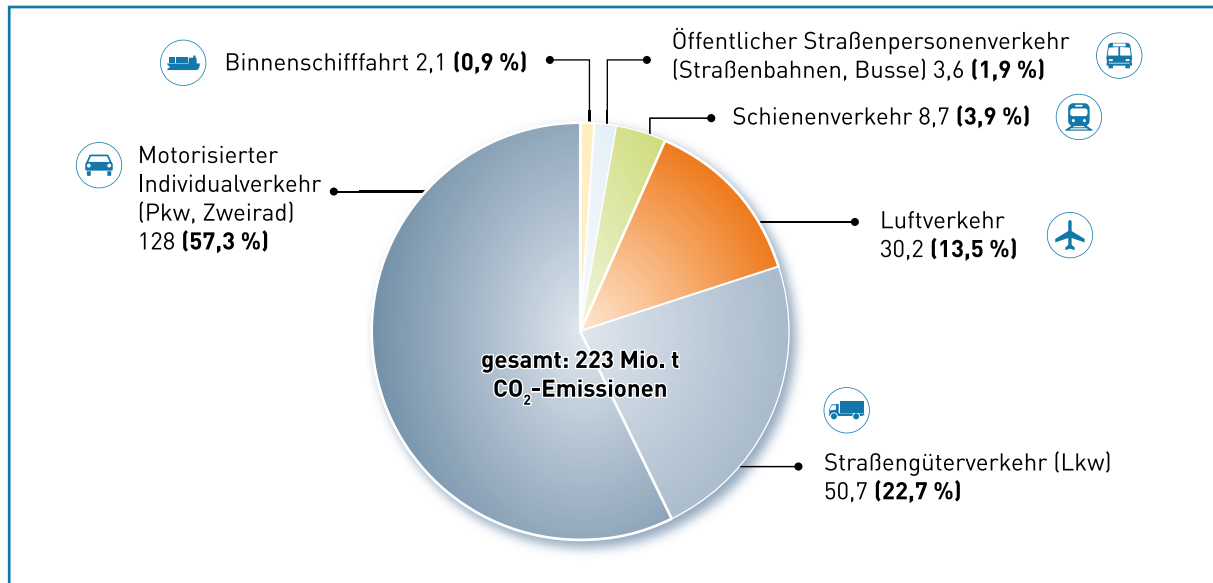


Quelle: UBA, Stand: 11/2013

Der hohe Anteil von Pkw und Lkw und damit von fossilen Kraftstoffen schlägt sich auch in der Treibhausgasbilanz nieder. 80 Prozent aller CO₂-Emissionen des Verkehrssektors werden auf der Straße emittiert. Dabei verursachen Pkw und Motorräder 128 Mio. t CO₂, gefolgt von Lkw mit 51 Mio. t CO₂ im Jahr 2010. Der Schienenverkehr macht dagegen nur 4 Prozent der CO₂-Emissionen des Verkehrs aus.

CO₂-Emissionen nach Verkehrsmitteln

(Mio. Tonnen CO₂-Emissionen 2010)



Quelle: IfEU/Dena 2012, Stand: 11/2013

Angesichts des überproportional hohen Anteils des Straßenverkehrs an den klimaschädlichen Emissionen des Verkehrssektors gilt hier ein besonders hoher Handlungsdruck. Notwendig sind Maßnahmen, um Emissionen und Energieverbrauch dieser Verkehrsmittel zu senken – einerseits durch sparsamere Verbrennungsmotoren und Verlagerung des Verkehrsaufkommens auf effizientere Verkehrsmittel. Andererseits gilt es, den Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Deckung des verbleibenden Energieverbrauchs zu steigern.

Sollen die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor reduziert werden, ist es wichtig, die knappen Emissionsmengen, die die Klimaschutzziele gewähren, möglichst effektiv zu nutzen. Im direkten Vergleich werden die großen Unterschiede der Verkehrsmittel leicht ersichtlich. Öffentliche Verkehrsmittel wie Eisenbahn und Reisebus legen beim Ausstoß einer Tonne CO₂ rund 20.000 bis 30.000 *Personenkilometer* zurück, d.h. 30 Personen werden über 1.000 km Entfernung befördert und verursachen dabei durchschnittlich den Ausstoß einer Tonne CO₂. Pkw und Flugzeug verursachen als weniger effiziente Verkehrsmittel mit ihrem Verbrauch von Kerosin bzw. fossilem Diesel- und Ottokraftstoff durchschnittlich bereits nach rund 5.000 *Personenkilometern* den Ausstoß einer Tonne CO₂.

Im folgenden Kapitel sollen die unterschiedlichen Verkehrsmittel hinsichtlich ihres Energieverbrauchs sowie möglicher Einsparungen und Effizienzsteigerungen untersucht werden. In Abhängigkeit der technischen Einsatzmöglichkeiten ergeben sich spezifischen Potenziale für die verstärkte Nutzung von erneuerbarem Strom oder von *Biokraftstoffen*.

Welche Chancen für die Energiewende bei welchen Verkehrsmitteln?

Die verschiedenen Verkehrsträger bieten jeweils unterschiedliche Voraussetzungen für die Nutzung Erneuerbarer Energien. Ein grundsätzlicher Unterschied besteht zwischen Verkehr mit und ohne Energieverbrauch. Während der Anteil Erneuerbarer Energien und die *Energieeffizienz* eines mit Muskelkraft angetriebenen Fahrrads und bei Fußgängern natürlich nicht gesteigert werden können, gibt es bei allen anderen Verkehrsmitteln große Potenziale.

Im motorisierten Verkehr haben sich mit Elektro- und Verbrennungsmotor seit über hundert Jahren zwei Antriebstechnologien etabliert. Die Energiewende im Verkehr kann nur vorankommen, wenn beide Technologien am effizientesten eingesetzt werden. Gleichzeitig müssen verstärkt erneuerbare Energieträger eingesetzt werden, d.h. Strom aus Erneuerbaren Energien in Elektromotoren, bzw. *Biokraftstoffe* in Verbrennungsmotoren.

Fuß- und Fahrradverkehr



Steckbrief Energiewende mit Fuß- und Fahrradverkehr		Entwicklung und Herausforderungen
Bestand	ca. 70 Mio. Fahrräder	steigend
Verkehrsleistung	58 Mrd. Pkm	Fußverkehr: sinkend Fahrradverkehr: steigend
Energieverbrauch	geringer Strombedarf von Pedelecs	steigend
Chancen für Erneuerbare Energien	Elektromobilität (Pedelecs)	Steigerung des Anteils Erneuerbarer Energien am Stromverbrauch
Bedeutung für Energiewende im Verkehr	Fuß- und Fahrradverkehr sind direkter Beitrag zum Energiesparen im Verkehr, Pedelecs können erneuerbaren Strom nutzen	Verlagerung des Pkw-Kurzstreckenverkehrs zum Fuß- oder Fahrradverkehr, Verlagerung Pkw-Pendlerverkehr zum Rad bzw. Pedelec

Bestand

In mehr als 80 Prozent der deutschen Haushalte steht mindestens eines der knapp 70 Millionen Fahrräder zur Verfügung. Jedes Jahr werden etwa 4 Millionen Fahrräder in Deutschland verkauft.⁸ Eine besonders dynamische Entwicklung verzeichnen derzeit so genannte Pedelecs. Das sind Fahrräder mit elektrischem Hilfsmotor, der Strom aus einem mobilen, am Rad befestigten Akkumulator (umgangssprachlich: Batterie) bezieht. Anfang 2013 waren schon 1,3 Millionen Pedelecs in Deutschland unterwegs.⁹

⁸ BMVBS: Nationaler Radverkehrswegeplan 2020. Berlin, Oktober 2012.

⁹ Zweirad-Industrie-Verband (ZIV): E-Bikes weiterhin mit Rückenwind unterwegs. Pressemitteilung, 20. März 2013.

Rolle im Verkehrsmix

Die zu Fuß und mit dem Fahrrad zurückgelegten Wegstrecken sind meistens kurz. Am häufigsten wird das Fahrrad zum Einkaufen, für Ausflüge oder als Sportgerät benutzt. 90 Prozent der Wege finden im Bereich von unter 5 km statt. Beim Pedelec macht der Hilfsmotor dieses Verkehrsmittel möglicherweise für eine größere Zahl von Nutzern attraktiver, nun häufiger und über längere Strecken mit anspruchsvollen Steigungen das Fahrrad zu nutzen. Auch könnten Pedelecs dazu beitragen, dieses Verkehrsmittel mit anderen öffentlichen Verkehrsmitteln wie Bus und Bahn häufiger zu kombinieren. So können die Wege zwischen den Stationen und dem eigentlichen Ziel schnell überbrückt werden. Pedelecs könnten deshalb in Zukunft an den Stationen als Leihräder zur Verfügung stehen. Damit würde der Verzicht auf den Pkw (oder motorisierte Zweiräder) angereizt.

Trend

Die Deutschen gehen tendenziell weniger zu Fuß. Die Zahl der *Personenkilometer* ging im Zeitraum 2002 bis 2009 um 10 Prozent zurück. Eine gegenläufige Entwicklung nahm der Fahrradverkehr, der sich einer stetig steigenden Beliebtheit erfreute und dessen Verkehrsleistung im gleichen Zeitraum um 8 Prozent zunahm. Der Fahrradverkehr elektrifiziert sich derzeit dynamisch. Zwischen 2008 und 2011 verdreifachte sich in Deutschland der Absatz von Pedelecs. Ein Beitrag zur steigenden Bedeutung des Fahrradverkehrs wird in Zukunft außerdem von innerstädtischen Fahrradverleihsystemen erwartet. Stehen diese an Haltestellen des öffentlichen Personenverkehrs bereit (Busse, Bahnen), kann ein attraktiver Umstieg zwischen den Verkehrsmitteln angeboten werden.

Technik

Wegen des eigenen Kraftaufwands werden meist nur kürzere Strecken zurückgelegt (1,4 km bei Fußwegen bzw. 3,4 km bei Wegen mit dem Fahrrad). Pedelecs sind Fahrräder mit einem Hilfsmotor, der maximal 0,25 Kilowatt Leistung bietet. Die Unterstützungsleistung endet beim Erreichen einer Geschwindigkeit von maximal 25 km/h. Leistungsstärkere bzw. schnellere Fahrzeuge müssen ein Kennzeichen führen und zählen nicht mehr zum Fahrradverkehr. Pedelecs können dank ihres Elektromotors die Entfernungen verlängern. Eine stärkere Nutzung wird dadurch eingeschränkt, dass Radfahrer (wie auch Fußgänger) dem Wetter ausgesetzt sind.

Große Chancen für Fahrräder im Güterverkehr

Werden Fahrräder stabil gebaut, können sie erhebliche Lasten transportieren. Sind sie darüber hinaus noch mit einem Elektrohilfsmotor ausgestattet, ist ein flexibler Einsatz im städtischen Güterverkehr möglich. Erst Modelle bieten bereits eine Transportkapazität von 250 kg. Der Energieverbrauch liegt bei umgerechnet nur 0,5 Liter bzw. 5 kWh für eine Strecke von 100 km. Damit wird der Energieverbrauch üblicher Kleintransporter (ca. 8 Liter Dieselkraftstoff bzw. ca. 80 kWh) deutlich unterboten. Der geringe Platzverbrauch, die lokalen Null-emissionen und die Flexibilität machen das System ideal für den großstädtischen Lieferverkehr. Wird Strom aus Erneuerbaren Energien bezogen, fährt das Güterfahrrad fast emissionsfrei.



Quelle: Amac Garbe für DLR

www.ich-ersetze-ein-auto.de

Energieverbrauch

Beim Fuß- und Fahrradverkehr muss keine externe Energie eingesetzt werden, sondern nur die eigene Muskelkraft. Die anfallenden Emissionen sind damit allenfalls indirekt zu beziffern – für die Produktion von Nahrungsmitteln zur Deckung des zusätzlichen Kalorienverbrauchs sowie für die Emissionen, die bei der Herstellung des Fahrrads anfallen.

Ausgestattet mit Akkus mit durchschnittlich rund 0,3 bis 0,8 kWh Speicherkapazität, können Pedelecs, je nach Fahrweise, Steigungen und Auslegung des Pedelecs rund 30 bis 150 km rein elektrisch zurückgelegt werden.¹⁰ Damit liegen auch Fahrräder mit elektrischem Hilfsmotor bei nur einem Bruchteil des Energieverbrauchs von Pkw oder Motorrädern und bieten ein hocheffizientes Verkehrsmittel im Personen- und Güterverkehr. Verbraucht ein Pkw 0,55 kWh je zurückgelegtem *Personenkilometer*, so ist der Stromverbrauch eines Pedelecs je *Personenkilometer* auf maximal ca. 0,02 kWh zu schätzen.¹¹

Politik

Die Bundesregierung hat sich im Nationalen Radverkehrsplan 2012 das Ziel gesetzt, den Anteil des Fahrradverkehrs an allen zurückgelegten Wegen von 10 Prozent auf 15 Prozent im Jahr 2020 zu steigern. (An der Verkehrsleistung im Personenverkehr hat der Fahrradverkehr nur einen Anteil von 3 Prozent.) Das Fahrrad – ob als Pedelec elektrifiziert oder nicht – bietet sich an, bedeutende Teile der Verkehrsleistung des Pkw (bzw. motorisierter Zweiräder) zu übernehmen. Schließlich ist die Hälfte aller Pkw-Fahrten kürzer als 6 km. Diese Entfernung liegt innerhalb der Reichweite, die von Fahrrädern üblicherweise als Wegstrecke geleistet werden kann.

Soll der Anteil des energiesparenden Fuß- und Fahrradverkehrs gesteigert werden, müssen dessen Rahmenbedingungen durch gezielte Maßnahmen politisch verbessert werden. Dazu zählen zum Beispiel Investitionen in das Radverkehrsnetz oder in die Sicherheit der nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmer. Fast die Hälfte der Fahrradfahrer fühlt sich laut Fahrradmonitor des Bundesverkehrsministeriums im Straßenverkehr nicht sicher. Kritisiert werden vor allem fehlende und schlecht ausgebaute Radwege und Abstellmöglichkeiten. Gewünscht sind Imagekampagnen und mehr Verkehrserziehung an Schulen.¹²

Damit sind Maßnahmen beschrieben, die den Gewohnheitswechsel für Bürger leichter machen, sogenannte „Pull-Faktoren“ wie Verkehrsberuhigung und der Ausbau von Fahrradwegen. Sie machen den Fuß- und Fahrradverkehr attraktiver und ziehen die Verkehrsteilnehmer zu diesem Verkehrsmittel hin. Im Gegensatz dazu machen „Push-Faktoren“ die Pkw-Benutzung durch Kostensteigerungen unattraktiver („City-Maut“, Parkplatzgebühren¹³). Verkehrsteilnehmer werden zur Alternative „geschoben“.

Chancen für Erneuerbare Energien

Pedelecs können Strom aus Erneuerbaren Energien laden und lassen sich somit problemlos mit ausschließlich Erneuerbaren Energien antreiben. *Elektromobilität* und Strom aus Erneuerbaren Energien können sich ideal ergänzen. Bisher wird Solar- und Windstrom in das bestehende Stromnetz eingespeist und direkt verbraucht – was auch in Zukunft primär so bleibt.

¹⁰ Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club (ADFC), Landesverband Nordrhein-Westfalen: Pedelecs 2013: Tests und Trends, April 2013.

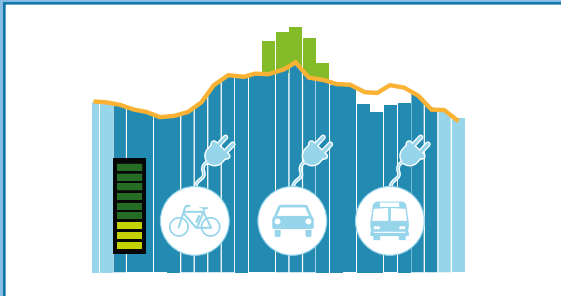
¹¹ Oehler, Andreas: Elektrorad – Energiesparwunder oder Klima-Schwein? In: Fahrrad Zukunft, Oktober 2009.

¹² BMVBS: Fahrradmonitor Deutschland 2011. Berlin, November 2011.

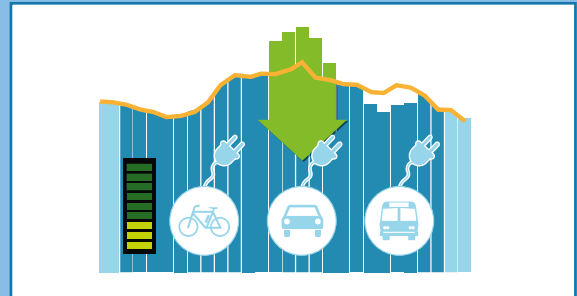
¹³ Fraunhofer ISI: Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr. Karlsruhe, April 2013.

Elektromobilität im erneuerbaren Stromnetz der Zukunft

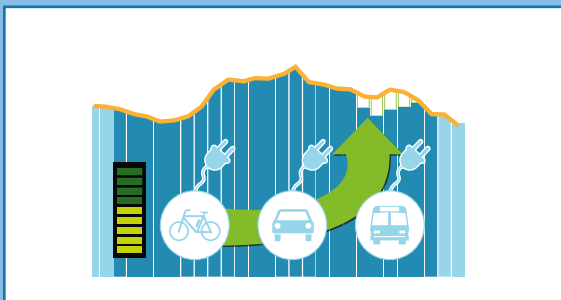
Elektrofahrzeuge, ob Pedelecs, Elektroautos oder Busse, können eine Ausgleichfunktion in der erneuerbaren Stromversorgung der Zukunft übernehmen.



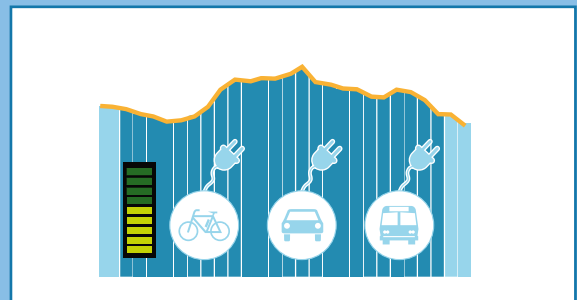
Mittags kann es zu einem zeitlich begrenzten Überangebot von erneuerbarem Strom kommen, zum Beispiel aus Photovoltaikanlagen.



Elektrofahrzeuge (Pedelecs, Elektroautos, Busse mit Elektromotor) können das Überangebot von erneuerbarem Strom gezielt in ihren Batterien speichern.



Elektrofahrzeuge können gespeicherten Strom aus ihren Batterien auch bedarfsgerecht wieder ins Netz abgeben,...



... um zu einem späteren Zeitpunkt die Stromnachfrage und das Angebot wieder in Einklang zu bringen.

In manchen Regionen ist allerdings schon heute der Anteil insbesondere von Solar- oder Windstrom im Netz so hoch, dass ein zeitweiliges Überangebot vorherrscht. Stromnetzbetreiber nehmen dann Erneuerbare-Energien-Anlagen vom Netz, wenn die Netzkapazitäten nicht ausreichen. Der Strombedarf von Pedelecs und anderen Elektrofahrzeugen kann durch entsprechende Steuerung der Stromladezeit genau auf diese Angebotsspitzen abgestimmt werden: Statt Erneuerbare-Energien-Anlagen vom Netz zu nehmen, könnten Elektrofahrzeuge das Überangebot gezielt aufnehmen. Sie nehmen z.B. in der Mittagspause, wenn viel Solarstrom im Netz ist, oder in windreichen Abendstunden erneuerbaren Strom auf und verbrauchen diesen dann auf dem Weg zur Arbeit am nächsten Tag. Mit einer ausreichend großen Flotte von Elektrofahrzeugen wäre damit eine Vielzahl dezentraler Stromspeicher geschaffen. Voraussetzung ist allerdings der Aufbau einer intelligenten Infrastruktur. Elektrofahrzeuge müssten über interaktive Stromzähler zeitgesteuert die jeweiligen Produktionsspitzen der Stromerzeugung abschöpfen. Auch wären der geringe Strombedarf von Pedelecs und die überschaubaren Ladekapazitäten nur eine kleine Ergänzung zum flexiblen Lademanagement der um ein Vielfaches größeren Kapazitäten von elektrisch angetriebenen Pkw und Lkw.

Bedeutung für die Energiewende im Verkehr

Nicht-motorisierter Verkehr ist ein direkter Beitrag zur *Energieeinsparung* als Säule der Energiewende im Verkehrssektor. Der Fuß- und Fahrradverkehr bietet ein bedeutendes Potenzial für Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr, da sich ein Großteil der Wege, die mit dem Pkw zurückgelegt werden, entfernungstechnisch gut mit dem Rad oder zu Fuß zurücklegen lässt. Voraussetzung ist, dass die Pkw-Nutzer zumindest teilweise zum Wechsel des Verkehrsmittels bereit sind. Selbst wenn größere Teile der Verkehrsleistung des Pkw und des leichten innerstädtischen Güterverkehrs durch Fahrräder bzw. Pedelecs ersetzt werden, würde der Energieverbrauch wegen der hohen *Energieeffizienz* dieser Verkehrsmittel reduziert. Verkehrsleistungen können mit nur wenigen Kilowattstunden durch elektrifizierte Fahrräder vollständig erneuerbar abgedeckt werden. Bei der Nutzung von Pedelecs kann es aber auch zum sogenannten „Rebound-Effekt“ kommen: Wenn ein Radler auf sein bisheriges muskelbetriebenes Fahrrad vollständig verzichtet und stattdessen nur noch ein Pedelec nutzt, wird zusätzlicher Strom benötigt. Allerdings ist dieser Verbrauch sehr gering.

Busverkehr



Steckbrief Energiewende im Busverkehr		Entwicklung und Herausforderungen
Bestand	76.000 Busse	leicht steigend
Verkehrsleistung	61,8 Mrd. Pkm	stagnierend, Zuwächse im Linienfernverkehr
Energieverbrauch	9 Mrd. kWh*	stagnierend
Chancen für Erneuerbare Energien	Biodiesel (Beimischung, Reinkraftstoff)	Freigaben, Abgaswerte
	Biomethan	Markteinführung Gasmotor
	Plug-In Hybrid, Elektromobilität	Markteinführung der Fahrzeuge
	erneuerbarer Wasserstoff	Forschung und Entwicklung
	synthetisches Methan	Markteinführung Gasmotor, Forschung und Entwicklung
Bedeutung für Energiewende im Verkehr	energieeffizienter Personenverkehr mit <i>Biodiesel</i> als mittelfristig wichtigster Beitrag Erneuerbarer Energien	Optimierung des Angebots (qualitativ und quantitativ), Verlagerung des Pkw-Verkehrs zum Busverkehr
	Elektromobilität mit flexiblem Lademanagement	Ausgleichsoption im erneuerbaren Stromnetz

*einschl. Straßenbahnen, 2010

Bestand

Als Bus werden rechtlich alle Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzen betrachtet. Von den 52,4 Mio. Kraftfahrzeugen, die Anfang 2013 beim Kraftfahrtbundesamt (KBA) zugelassen waren, sind 76.000 Omnibusse.¹⁴ Die Zahl der einsatzbereiten Linien- und Reisebusse ist in Deutschland seit Beginn der 1990er Jahre unter Berücksichtigung statistischer Erfassungsänderungen leicht gesunken.

¹⁴ Kraftfahrtbundesamt (KBA): Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2013. Flensburg, Januar 2013.

Rolle im Verkehrsmix

Busse werden in Deutschland zu verschiedenen Zwecken eingesetzt: Zum einen leisten sie einen wesentlichen Beitrag zum öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und garantieren insbesondere in ländlichen Regionen flächendeckende Mobilität. Darüber hinaus dienen sie im Personenfernverkehr als Linien- und Reisebusse. Die Verkehrsleistung von Bussen belief sich im Jahr 2011 auf 61,8 Mrd. *Pkm*. Den größten Anteil hat der Liniennahverkehr mit 39 Mrd. *Pkm*, gefolgt vom Gelegenheitsfernverkehr (Busreisen) mit 20,8 Mrd. *Pkm*. Der Linienfernverkehr und der Gelegenheitsnahverkehr spielten mit je rund 1 Mrd. *Pkm* keine große Rolle. Insgesamt rund 5,6 Mrd. Passagiere wurden in Bussen befördert.¹⁵

Trend

Nachdem die Verkehrsleistung des Busverkehrs bis in die 1980er Jahre anstieg, ist sie seit 1990 um 16 Prozent¹⁶ zurückgegangen. Für die Zukunft wird im Reise- und Linienbusverkehr eine Stagnation der Verkehrsleistung vorhergesagt.¹⁷ Das hängt auch mit der demografischen Entwicklung zusammen: Ältere Menschen nutzen die öffentlichen Verkehrsmittel weniger häufig. Bei den Fernbussen zeichnet sich dagegen ein dynamisches Wachstum ab: Der Marktumfang soll 2014 schon bei 500 Millionen Euro Umsatz liegen, 40 Prozent aller in Deutschland Reisenden können sich eine Fahrt mit einem Linienfernbus vorstellen.¹⁸

Technik

Omnibusse werden in Deutschland fast ausschließlich mit Verbrennungsmotoren betrieben, die Dieselkraftstoff nutzen (74.000 von 76.000 zugelassenen Bussen). Rund 1.500 Busse verfügen über einen Gasmotor. Nur knapp 100 Busse werden ausschließlich mit Strom aus einem Akkumulator (Batterie) betrieben. Rund 200 Busse verfügen über einen Hybridantrieb, d.h. können sowohl Strom aus einer Batterie nutzen, als auch auf einen Verbrennungsmotor zurückgreifen. Die Batterie kann entweder durch externe Stromzufuhr aus dem Stromnetz aufgeladen werden („Plug-In Hybrid“) oder ausschließlich durch die Rückgewinnung der Bremsenergie.

Eine Sonderform stellen die bis in die 1960er Jahre verbreiteten Oberleitungsbusse („O-Bus“, „Trolleybus“) dar, die rein elektrisch betrieben werden. Dabei greifen sie jedoch wie Straßenbahnen mit einem Stromabnehmer direkt auf ein oberhalb der Fahrtstrecke installiertes stromführendes Oberleitungsnetz zurück. In Deutschland sind Oberleitungsbusse nur noch in Eberswalde, Esslingen und Solingen im Einsatz.

Alternative Antriebskonzepte für Busse sind noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase und nicht in der breiten Markteinführung: So experimentieren einzelne Verkehrsgesellschaften in Deutschland mit Bussen, die in Verbrennungsmotoren den Energieträger *Wasserstoff* nutzen. *Wasserstoff* kann auch in Bussen mit Brennstoffzelle eingesetzt werden, um einen Elektromotor anzutreiben. In einem europäischen Projekt erproben 26 Städte, darunter Hamburg, den Linienbusverkehr mit Brennstoffzellenbussen.¹⁹

¹⁵ Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer (BDO): Wirtschaftsfaktor Bus. Branchendaten. Fakten zum Busverkehr in Deutschland 2012. <http://www.bdo-online.de/zahlen-fakten/branchendaten>.

¹⁶ Europäische Kommission: EU transport in figures. Statistical pocketbook 2013. Luxemburg, September 2013.

¹⁷ BMVBS/BVU/ITP: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. Kurzfassung, München/Freiburg, November 2007.

¹⁸ Exeo Consulting: Mobilitätstrends 2013. Bonn, Juli 2013.

¹⁹ CHIC - Clean Hydrogen in European Cities; <http://chic-project.eu>; <http://www.sauberbus.de>

Energieverbrauch

Der öffentliche Straßenpersonenverkehr (Busse und Straßenbahnen) verbrauchte 2010 rund 9 Mrd. kWh Kraftstoffe und Strom. Die Möglichkeit, viele Passagiere gleichzeitig zu transportieren, macht Busse zu energieeffizienten Verkehrsmitteln. In Deutschland wurde 2012 der Großteil der 76.000 eingesetzten Busse mit fossilem Dieselmotorkraftstoff betrieben. Diese Fahrzeuge nutzen damit bereits anteilig auch *Biodiesel*, da fossilem Dieselmotorkraftstoff in Deutschland 7 Volumenprozent *Biodiesel* beigemischt werden (sog. B7-Kraftstoff). Die 1.500 Busse mit Gasmotor nutzen vor allem fossiles Erdgas (CNG, Compressed Natural Gas), können jedoch auch aufbereitetes Biogas (*Biomethan*) nutzen, das in seiner Zusammensetzung und Beschaffenheit als Kraftstoff mit fossilem Erdgas identisch ist.

Effizienzsteigerung durch Hybridbusse im Stadtverkehr

Hybridbusse, d.h. Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb und Verbrennungsmotor, können ihre Stärke am Besten im Stadtverkehr ausspielen. Mit jedem Bremsvorgang kann Energie zurückgewonnen werden, die an Bord in einer Batterie gespeichert wird, um zu einem späteren Zeitpunkt beim Beschleunigen den Elektromotor anzutreiben. Bei Plug-In Hybrid-Bussen wäre technisch außerdem ein Aufladen der Batterie durch erneuerbaren Strom aus dem Netz möglich. Nicht nur Kraftstoff, sondern auch Feinstaub und Lärm werden reduziert. In ersten Praxisversuchen konnten über 20 Prozent CO₂-Emissionen eingespart werden. Ein Dutzend Verkehrsbetriebe setzt in Deutschland Hybridbusse ein. Im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative förderte das Bundesumweltministerium von 2011-2013 die Anschaffung von 65 Hybridbussen.



Hybridbus in Lübeck, Quelle: Wikimedia, 1970gemin

Politische Rahmenbedingungen

Ein wichtiger Schritt für eine Zunahme des Linienfernverkehrs war die Liberalisierung des Fernlinienbusverkehrs mit Novellierung des Personenbeförderungsgesetzes ab Januar 2013. Damit entfiel der Konkurrenzschutz des Schienenverkehrs für den Personenfernverkehr. Bis dahin konnten neue Fernbuslinien nicht eingeführt werden, wenn eine parallele Schienenverbindung bestand. Die Liberalisierung führte bereits in den ersten Monaten nach Inkrafttreten zur Verdoppelung der Anzahl der angebotenen Verbindungen.²⁰

Chancen für Erneuerbare Energien

Mehrere *Biokraftstoffe* können – je nach Antriebstechnik – fossile Kraftstoffe im Busverkehr ersetzen. Eine bereits heute breit etablierte Alternative ist der Einsatz von *Biodiesel*. Der größte Anteil entfällt im Busverkehr auf die Beimischung von *Biodiesel* zu fossilem Diesel (B7-Kraftstoff). Auch höhere Beimischungen oder die ausschließliche Betankung mit reinem *Biodiesel* (B100) sind bei Bussen technisch möglich, sofern die jeweiligen Motoren vom Hersteller für den Einsatz dieses *Biokraftstoffs* freigegeben sind. Bei Nach- und Umrüstungen muss gewährleistet sein, dass durch den Einbau von Filtern die Abgaswerte den Vorgaben der Euro-Norm entsprechen. Seit der zweiten Hälfte der 1990er Jahre setzen Verkehrsbetriebe und Busunternehmen B100 erfolgreich in Linien- und Reisebussen ein.²¹

²⁰ Müller, Benedikt: Fernbusse mit deutlich mehr Fahrgästen. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 19. September 2013.

²¹ UFOP: Erfahrungsbericht Biodiesel in Linienomnibussen. Bonn 2000.

Soll reines Pflanzenöl als *Biokraftstoff* in Bussen genutzt werden, werden umfangreichere technische Umrüstungen am Motor notwendig. Reines Pflanzenöl wird durch mechanisches Pressen und gegebenenfalls Extraktion der Rapssaat gewonnen und spielt im Busverkehr keine Rolle.

Hydriertes Pflanzenöl (HVO-Kraftstoff) wird dagegen wie *Biodiesel* und reines Pflanzenöl aus Ölpflanzen hergestellt, ist in seiner physikalischen Eigenschaft jedoch fossilem Dieselmotor sehr ähnlich und kann dessen Normungsvorgaben in vielen Parametern entsprechen. Damit können deutlich höhere Beimischungsanteile erreicht werden und die für *Biodiesel* und Pflanzenöl notwendigen Freigaben bzw. Umrüstungen der verwendeten Fahrzeuge entfallen.

Keinerlei technische Hürden für den Einsatz von *Biokraftstoff* gibt es bei Bussen, die mit Gasmotor angetrieben werden. Aufbereitetes Biogas wird als *Biomethan* in das bestehende Gasnetz eingespeist und kann an Gastankstellen wieder entnommen werden, um Busse mit bis zu 100 Prozent *Biomethan* zu betanken. So nutzen die Stadtwerke Augsburg bilanziell ausschließlich *Biomethan* zur Betankung ihrer über 100 Linienbusse mit Gasmotor.

Busse mit Gasmotor kommen auch in Frage für die Nutzung von synthetischem Methan, das zum Beispiel aus erneuerbarem Strom erzeugt wird. Bei diesem so genannten „*Power to Gas*“ (*P2G*)-Verfahren wird erneuerbarer Strom durch Elektrolyse zunächst zu *Wasserstoff* umgewandelt. In einem anschließenden Schritt, der *Methanisierung* des *Wasserstoffs*, wird Biogas oder Kohlendioxid dem *Wasserstoff* hinzugeführt, um *synthetisches Methan* (CH_4) zu erzeugen. Dieses kann wiederum im Gasnetz gespeichert werden. Es ist physikalisch identisch mit fossilem Erdgas bzw. aufbereitetem Biogas (*Biomethan*). Nachteile sind – wie beim ebenfalls als Energieträger möglichen erneuerbaren *Wasserstoff* – die bisher hohen Kosten und der geringe Wirkungsgrad.²²

Elektrisch betriebene Busse, ob als reine Elektrobusse, Hybridbusse oder O-Busse, können über das bestehende Stromnetz Strom aus Erneuerbaren Energien laden. Dem Einsatz von ausschließlich erneuerbarem Strom sind technisch dabei keine Grenzen gesetzt. Mit einer intelligenten Ladeinfrastruktur können elektrisch betriebene Busse zum Ausgleich von erneuerbarem Stromangebot und Stromnachfrage beitragen – wie im Kapitel Fuß- und Fahrradverkehr beschrieben.

Bedeutung für die Energiewende im Verkehr

Die nahezu vollständige Abhängigkeit des Busverkehrs von fossilem Diesel kann bisher vor allem durch *Biokraftstoffe* verringert werden. Die technischen Möglichkeiten zum ausschließlichen Betrieb mit *Biodiesel* werden aus wirtschaftlichen Gründen jedoch nicht mehr genutzt: Durch die steigende Besteuerung von reinem *Biodiesel* (B100) ist nach Einführung des *Biokraftstoffquotengesetzes* 2007 dessen Absatz im Busverkehr fast vollständig eingestellt worden. *Biodiesel* wird ausschließlich über die Beimischung (B7) im kostengünstigeren fossilen Dieselmotor eingesetzt. Zwar kann über Busse mit Gasmotor ohne technische Probleme ausschließlich *Biomethan* als *Biokraftstoff* genutzt werden, doch macht die Flotte mit 1.500 Bussen bisher nur einen Bruchteil des Gesamtbestands aus. Durch die Option, erneuerbaren Strom als *synthetisches Methan* in die Gasnetze einzuspeisen („*Power to Gas*“), könnte mittel- bis langfristig jedoch ein bedeutendes Potenzial für den gesamten Verkehrssektor erschlossen werden.²³ Limitierender Faktor ist aktuell noch die verhältnismäßig geringe Zahl von Fahrzeugen mit Gasmotor.

²² Agentur für Erneuerbare Energien (AEE): Strom speichern. Renews Spezial 57, März 2012.

²³ UBA: Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau-Roßlau, Oktober 2013.

Aufgrund relativ hoher Anschaffungs- und Betriebskosten ist kurzfristig nicht mit nennenswerten Marktanteilen elektrisch betriebener Busse zu rechnen. Plug-In-Hybridbusse, die nicht nur Bremsenergie zurückgewinnen, sondern auch Strom aus dem Netz laden, sind bisher nicht serienmäßig erhältlich.²⁴ Erneuerbarer Strom wird vor diesem Hintergrund im Busverkehr mittelfristig keine relevanten Mengen fossilen Dieselmotorkraftstoffs ersetzen können.

Hybridantriebe bieten keinen Nutzungspfad für Erneuerbare Energien im Busverkehr, sondern sind ein Beitrag zur *Energieeffizienz*. Sie können den hinsichtlich seines Energieverbrauchs je *Personenkilometer* bereits sehr sparsamen Busverkehr noch effizienter machen. Da konventionelle Verbrennungsmotoren weiterhin einen Großteil der Fahrzeuge antreiben, kommt Hybridantrieben – zusammen mit *Biokraftstoffen* eine zentrale Rolle für eine Energiewende im Busverkehr zu. Steigende Kosten für fossilen Dieselmotorkraftstoff können weitere Effizienzsteigerungen und elektrische Antriebe anreizen.

Straßen- und U-Bahnen



Steckbrief Energiewende im Straßenbahn- und im U-Bahnverkehr		Entwicklung und Herausforderungen
Bestand	80 Städte mit Linienbetrieb 6.800 Fahrzeuge 5.300 km Streckennetz	leicht steigend
Verkehrsleistung	16,6 Mrd. Pkm	steigend
Energieverbrauch	9 Mrd. kWh*	stagnierend
Chancen für Erneuerbare Energien	Elektromobilität	Steigerung des Anteils Erneuerbarer Energien am Stromverbrauch
Bedeutung für Energiewende im Verkehr	energieeffizientester Personenverkehr mit relativ leicht und schnell zu steigendem Anteil Erneuerbarer Energien	Optimierung des Angebots, hohe Unterhaltungskosten, Verlagerung des Pkw-Verkehrs zum Straßenbahnverkehr

*einschl. Busverkehr, 2010

Im Jahr 2013 gab es in Deutschland etwa 80 Städte mit Straßenbahn und/oder U-Bahnbetrieben. Das Streckennetz ist knapp 5.300 km lang. 6.800 Fahrzeuge werden auf 421 bestehenden Linien eingesetzt.²⁵

Rolle im Verkehrsmix

Straßen- und U-Bahnen bieten im innerstädtischen Bereich schnellen und effizienten öffentlichen Nahverkehr. Mehr als drei Viertel der Verkehrsleistung wird in Großstädten zurückgelegt. Straßen- und U-Bahnen sind neben dem Busverkehr die tragende Säule des ÖPNV. Jährlich werden circa 3,8 Mrd. Fahrgäste transportiert. Besonders junge und erwerbstätige Menschen nutzen Straßen- und U-Bahnen regelmäßig, während Senioren sich wieder dem eigenen Auto zuwenden.

²⁴ EnergiImpuls OWL: Klimafreundliche Elektromobilität: Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020. Bielefeld, Mai 2010.

²⁵ Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV): VDV-Statistik 2011. Köln, August 2012.

Trend

Die Verkehrsleistung von Straßen- und U-Bahnen in Deutschland wächst. Von 2004 bis 2012 nahm die Verkehrsleistung um 12 Prozent zu und erreichte den Stand von 16,6 Mrd. *Personenkilometern*. Neue Straßenbahnnetze sind etwa in Kiel und Reutlingen geplant, außerdem gibt es zahlreiche Ausbaupläne bestehender Netze in Großstädten. In Ballungsgebieten mit ausreichend hohem Verkehrsaufkommen sind Stadt- und U-Bahnen aufgrund ihrer hohen Kapazitäten attraktive Verkehrsmittel, während in dünner besiedelten Regionen bzw. in Regionen mit geringerem Verkehrsaufkommen ein Betrieb häufig als zu kostenintensiv betrachtet wird.

Technik

Straßen- und U-Bahnen sind durchgängig elektrisch betrieben und seit Ende des 19. Jahrhunderts in Deutschland verbreitet. Sie beziehen Strom aus dem Stromnetz. Heute dominiert der Personenverkehr. Gütertransporte per Straßenbahn sind in der Großstadt zwar möglich, spielen aber in der Praxis gegenüber der Konkurrenz des Lkw keine Rolle. Deutschlands einzige Güterstraßenbahn fährt in Dresden.

Energieverbrauch

Wie Busse haben Straßen- und U-Bahnen einen relativ geringen Energieverbrauch, der – bezogen auf einen *Personenkilometer* – etwa ein Drittel unter dem eines Pkws liegt. Darüber hinaus emittieren Straßen- und U-Bahnen mit einem durchschnittlichen Ausstoß von 78 Gramm CO_2 -Äquivalent je *Personenkilometer* nur rund die Hälfte der Treibhausgasemissionen eines Pkws.

Politische Rahmenbedingungen

Die Instandhaltung von Straßen- und U-Bahnen wird durch die Kommunen und die Fahrgasteinnahmen finanziert. Aufwendige Ausbau- und Renovierungsmaßnahmen sind ohne Zuschüsse von Bund und Ländern nur schwer umsetzbar. Wurde der Bau von U-Bahnen in den 1960er und 1970er Jahren in Westdeutschland gefördert, um im Straßenraum Platz für den Autoverkehr zu schaffen, fehlen vielen finanzschwachen Kommunen inzwischen die Mittel, um die verhältnismäßig aufwändige Infrastruktur in Stand zu halten und zu modernisieren. Schienenbahnen wie Straßen- und U-Bahnen genießen als ökologisch vorteilhafte Verkehrsmittel und wichtiger Bestandteil der öffentlichen Daseinsvorsorge politische Vorteile. So sind die Betreiber beim Strombezug von der Zahlung der Umlage im Rahmen des *Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)* bisher weitgehend befreit. Die Energiekosten der Straßen- und U-Bahnen werden damit gesenkt, um sie gegenüber anderen Verkehrsmitteln zu unterstützen.

Chancen für Erneuerbare Energien

Da die deutschen Straßen- und U-Bahnen Strom aus dem Netz beziehen, nutzen sie im Durchschnitt den jeweiligen Anteil Erneuerbarer Energien am Strommix (2013: 23,5 Prozent). Steigt der Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung, wird auch die Energieversorgung der Straßen- und U-Bahnen zunehmend erneuerbar. Bereits heute spielen einige Verkehrsverbünde eine Vorreiterrolle, indem sie für ihren Fuhrpark bilanziell ausschließlich Strom aus 100 Prozent Erneuerbaren Energien einkaufen. Damit tragen sie bei entsprechender Ausgestaltung des Ökostrom-Liefervertrages dazu bei, die Nachfrage nach erneuerbarem Strom zu erhöhen und den Bau von zusätzlichen Erneuerbare-Energien-Anlagen anzureizen. So versorgen beispielsweise die Stadtwerke Görlitz ihre 17 Straßenbahnen mit selbst erzeugtem Strom aus Erneuerbaren Energien.

Potenzial für die Energiewende

Straßen- und U-Bahnen lassen sich bilanziell problemlos vollständig mit erneuerbarem Strom versorgen. Verkehrsunternehmen setzen schon heute aus ökologischen und Image-Gründen bilanziell 100 Prozent erneuerbaren Strom ein. Hinsichtlich der Netzintegration der Erneuerbaren Energien können jedoch keine Speicherfunktionen übernommen werden wie bei Elektroautos, Pedelecs oder Elektrobussen – schließlich erfolgt die Stromabnahme aus dem Netz zwangsweise jeweils genau zum Zeitpunkt des Linienverkehrs. Eine Lastverlagerung ist ebenfalls nicht möglich. Das Potenzial dieses Verkehrsmittels zum Ersatz fossiler Energieträger beschränkt sich auf den innerstädtischen Verkehr. Wo Straßen- und U-Bahnnetze bestehen, können Pkw-Fahrer zum Umstieg gewonnen werden – wofür jedoch eine gesteigerte Attraktivität des Verkehrsmittels und öffentliche Förderung unverzichtbar sind.

Straßen- und U-Bahnen leisten damit vor allem durch Energieeinsparen und ihren effizienten Energieverbrauch einen Beitrag zur Energiewende. Weitere Effizienzverbesserungen wie die Rückeinspeisung von Bremsenergie ins Stromnetz sind möglich. Einen weiteren Schritt geht die U-Bahn Nürnberg: Durch die automatische Fahrweise wird der Fahrstrom optimal eingesetzt. Die fehlende Führerkabine schafft Platz für zusätzliche Fahrgäste.

Pkw-Verkehr



Steckbrief Energiewende im Pkw-Verkehr		Entwicklung und Herausforderungen
Bestand	43,4 Mio. Fahrzeuge 12.800 km Autobahnen 39.700 km Bundesstraßen	steigend steigend steigend
Verkehrsleistung	917 Mrd. Pkm	steigend
Energieverbrauch	ca. 420 Mrd. kWh*	steigend
Chancen für Erneuerbare Energien	Plug-In Hybrid, Elektromobilität	Markteinführung der Fahrzeuge, Ladeinfrastruktur
	Biodiesel (Beimischung, Reinkraftstoff)	Höhe der Beimischung, Abgaswerte
	Bioethanol (Beimischung, Reinkraftstoff)	Höhe der Beimischung, Markteinführung der Fahrzeuge
	Biomethan	Markteinführung der Fahrzeuge
	Pflanzenöl	Umrüstung der Fahrzeuge
	erneuerbarer Wasserstoff	Forschung und Entwicklung
	synthetisches Methan	Markteinführung Gasmotor, Forschung und Entwicklung
Bedeutung für Energiewende im Verkehr	dominierendes und ineffizientestes Verkehrsmittel mit größtem und weiter wachsendem Fahrzeugpark	Verhaltensänderungen, Verlagerung zu Bus-, Bahn-, Rad-, Fußverkehr, Effizienzsteigerung durch strenge Flottengrenzwerte
	Biokraftstoffe bieten kurz- und mittelfristig einzige relevante Mengen Erneuerbarer Energien	Beimischungen und Fahrzeugfreigaben, Nachhaltigkeit der Biokraftstoffe
	Elektromobilität mit flexiblem Lademanagement erreicht kurzfristig nur geringe Anteile	langfristig wichtige Ausgleichsoption im erneuerbaren Stromnetz

Bestand

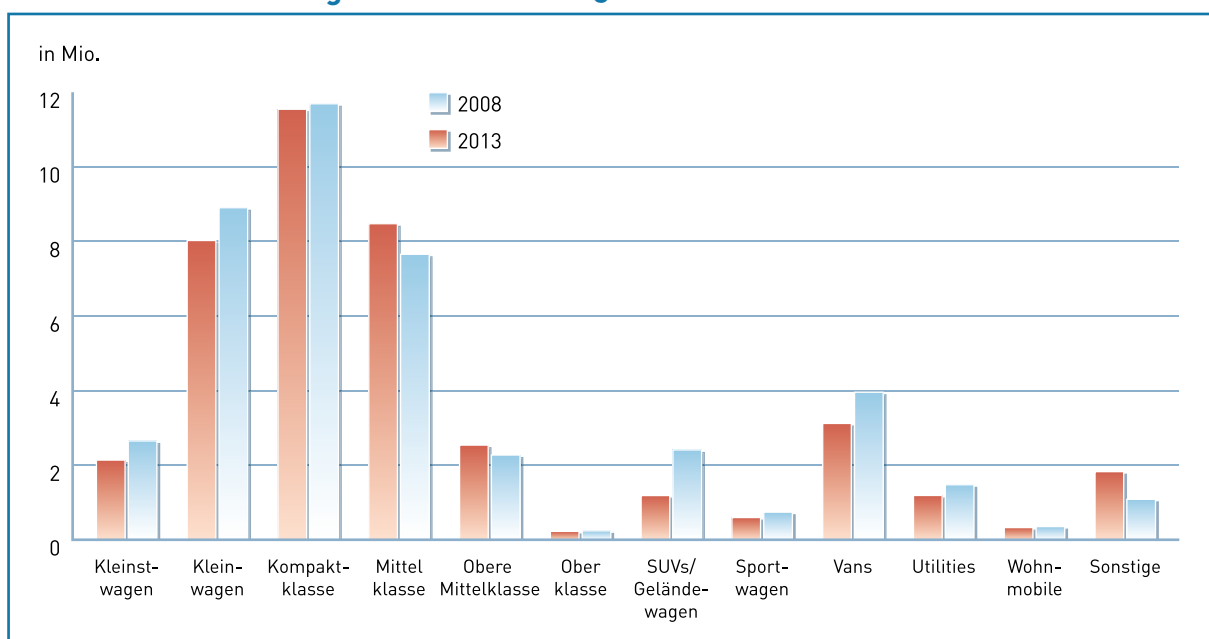
In Deutschland waren Ende 2012 43,4 Millionen Pkw beim Kraftfahrtbundesamt registriert. Im Jahr 2012 wurden 3,1 Mio. Pkw neu zugelassen. Die Pkw-Dichte ist hoch: Auf 1.000 Einwohner kamen 525 Pkw (2000: 475 Pkw/1.000 Einwohner). Damit kann rechnerisch die gesamte Bundesbevölkerung auf den Vordersitzen der in Deutschland angemeldeten Pkw Platz nehmen. In der EU haben nur Italien, Luxemburg und Finnland eine höhere Pkw-Dichte.²⁶

²⁶ UBA: Daten zum Verkehr. Dessau-Roßlau, Oktober 2012.

Pkw-Besitz hängt vom Familienstand und sozialen Status ab: Alleinlebende und alleinerziehende Personen besaßen weniger häufig einen Pkw (58 bis 71 Prozent) als Paarhaushalte mit oder ohne Kindern (92 bis 95 Prozent).²⁷ Überwiegend Personen mit einem monatlichen Haushaltsnettoeinkommen ab 3.000 Euro nutzen nach einer Erhebung des Umweltbundesamtes den Pkw als Hauptverkehrsmittel.²⁸

Die deutschen Haushalte verfügten 2012 über 25,1 Mio. gebraucht gekaufte Pkw, 15 Mio. neu gekaufte Pkw und 2,2 Mio. geleaste Pkw.²⁹ Einerseits ist der Anteil der Kleinst- und Kleinwagen von 2008 bis 2013 um ein Viertel gestiegen (2,7 Mio. Kleinst- und 8,9 Mio. Kleinwagen im Jahr 2013), andererseits hat sich der Bestand von SUV- und Geländewagen innerhalb dieses Zeitraums verdoppelt auf 2,4 Mio. Fahrzeuge.

Pkw-Bestand nach Segmenten 2008-2013



Quelle: KBA, Stand: 1/2013

Rolle im Verkehrsmix

Die Verkehrsleistung des motorisierten Individualverkehrs betrug im Jahr 2011 917 Mrd. Pkm. Mehr als die Hälfte aller Wege legten die Deutschen 2010 mit dem Pkw (bzw. dem Motorrad) zurück. Drei Viertel der gesamten Verkehrsleistung im Personenverkehr wird vom Pkw abgedeckt, der damit das dominante Verkehrsmittel ist. Im Durchschnitt legten Pkw-Fahrer mit einer Fahrt 16 km zurück. Bei dienstlichen Fahrten und auf dem Weg zum Arbeitsplatz ist der Pkw das Verkehrsmittel erster Wahl (88 bzw. 70 Prozent Anteil an allen Fahrten). Auch bei drei Vierteln der Freizeitfahrten wird der Pkw (bzw. das Motorrad) genutzt.

²⁷ Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 2013 – Transport und Verkehr, Wiesbaden 2013.

²⁸ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)/UBA: Umweltbewusstsein in Deutschland 2012. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin/Dessau-Roßlau, Januar 2013.

²⁹ Statistisches Bundesamt: Ausstattung von Privathaushalten 2013 mit Fahrzeugen. Einkommens- und Verbrauchsstichprobe, November 2013.

In ländlichen Räumen liegen die Anteile des Pkw etwas höher als im städtischen Bereich, wo der ÖPNV einen größeren Teil der Verkehrsleistung ausmacht. Grundsätzlich genießt der Pkw als Hauptverkehrsmittel dabei weiterhin hohe Zufriedenheit und Akzeptanz. Die jährliche Untersuchung des Umweltbundesamtes zum Umweltbewusstsein der Bevölkerung stellt keinen Bedeutungsverlust des Pkw als bedeutendes Prestigesymbol fest.

Die hohe Bedeutung des Pkw-Verkehrs in Deutschland wird durch die zentrale Rolle der Automobilindustrie und ihrer Zulieferer für die deutsche Volkswirtschaft unterstrichen. In Deutschland wurden 2012 insgesamt 5,4 Mio. Pkw produziert, von denen 4,1 Mio. exportiert wurden. Deutsche Automobilkonzerne ließen im Ausland im Jahr 2012 zusätzlich 8,2 Mio. Pkw herstellen. Die deutsche Automobilindustrie erzielte 2012 einen Inlandsumsatz von 128,2 Mrd. Euro und beschäftigte in Deutschland 743.000 Menschen.³⁰

Damit wird die zentrale Bedeutung des Pkw-Verkehrs für den gesamten Mobilitätsbereich in Deutschland deutlich. Da Pkw als wichtigstes Hauptverkehrsmittel für die größten Anteile an der Verkehrsleistung, am Energieverbrauch und an den Treibhausgasemissionen verantwortlich sind, sind weitreichende strukturelle Änderungen in diesem Bereich unvermeidbar. Darüber hinaus führt der Pkw-Verkehr auch bei sonstigen umwelt- und gesundheitsschädlichen Schadstoffemissionen wie Stickoxiden und Feinstaub.

Trend

Von 2005 bis 2011 stieg die Verkehrsleistung des motorisierten Individualverkehrs von 876 Mrd. Pkm auf 917 Pkm (+ 4,6 Prozent). Seit 1960 hat sich die Verkehrsleistung des Pkw in Deutschland mehr als vervierfacht.³¹ Der Anteil am Gesamtverkehrsaufkommen geht leicht zurück, verharnt aber auf sehr hohem Niveau.

Der *motorisierte Individualverkehr* nimmt trotz rückläufigem Wirtschaftswachstum weiter zu. Pkw-Verkehr und ökonomische Entwicklung sind noch nicht entkoppelt. Dass auch nach der Wirtschaftskrise 2009 die Verkehrsleistung im Personenverkehr weiter wächst, ist vermutlich auf den gleichzeitig steigenden Verkehr zu Freizeitzwecken zurückzuführen.³²

Motorräder können elektrifiziert werden

Die ca. 5,9 Mio. Motorräder und Mofas zählen mit den Pkw zum motorisierten Individualverkehr. Ihr Energieverbrauch und ihr Anteil an der Verkehrsleistung sind insgesamt relativ gering und sollen hier nicht tiefer analysiert werden. Der Bestand an Motorrädern und Mofas wird derzeit mit Ottokraftstoff betrieben, zu dem *Bioethanol* bereits beigemischt wird. Ein elektrischer Antrieb ist technisch bereits etabliert, in Deutschland aber noch wenig durchgesetzt. Die zuvor beschriebenen Pedelecs zählen nicht zu Motorrädern. Leistungsfähige Elektroräder werden serienmäßig produziert. Beispielsweise verfügt das „eRockit“ laut Herstellerangaben über eine Reichweite von bis zu 100 km und bietet eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.



Das Elektro-Motorrad „eRockit“ im Einsatz bei der Berliner Polizei.
Quelle: eRockit

³⁰ Verband der Automobilindustrie (VDA): Jahresbericht 2013.

³¹ IfEU: Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960 – 2030. TREMOD, Version 5.25. Heidelberg, September 2012.

³² Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 2013 – Transport und Verkehr, Wiesbaden 2013.

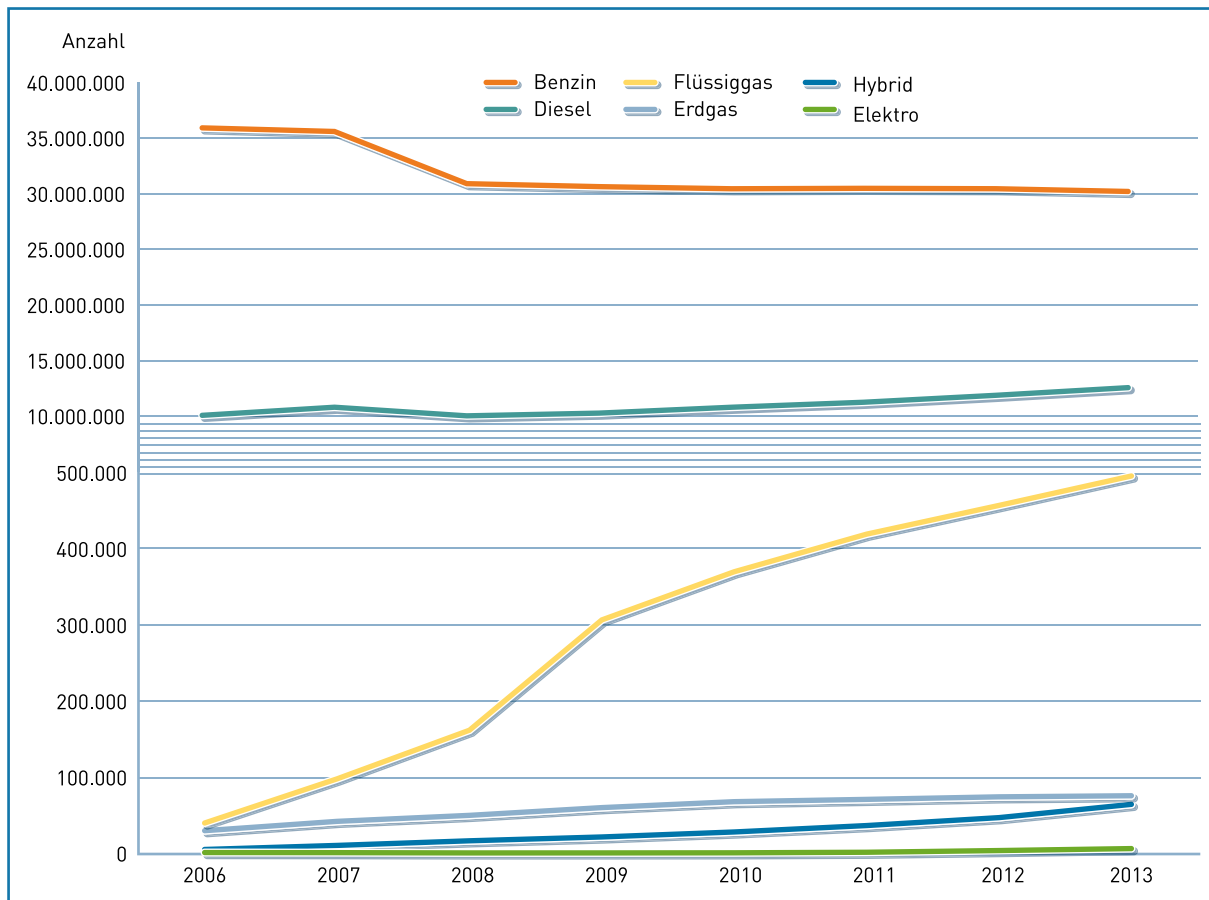
Technik

Für Pkw gibt es heute vielfältige Antriebsmöglichkeiten, die serienmäßig am Pkw-Markt angeboten werden. Zu unterscheiden sind zunächst Verbrennungsmotoren und elektrische Antriebe. Je nach Antriebstechnologie ergeben sich unterschiedliche Voraussetzungen für den Einsatz Erneuerbarer Energien und für Effizienzsteigerungen.

Elektrische Antriebe sind dabei keine Zukunftsmusik, sondern dominierten im motorisierten Individualverkehr bis zum Ersten Weltkrieg. Elektromotoren wurden seit den 1830er Jahren für mobile Anwendungen eingesetzt. Dagegen konnten sich Diesel- und Ottomotoren erst nach dem Ersten Weltkrieg mit dem billigen Energieträger Erdöl durchsetzen. Elektrofahrzeuge blieben mit Bleibatterien in Reichweiten und Geschwindigkeit beschränkt: Eine kleine und leichte Batterie begrenzte die Reichweite, während schwere Batterien mit größerer Speicherkapazität die Geschwindigkeit einschränkten.

Ein Vorteil von *Biokraftstoffen* und fossilen Kraftstoffen ist demgegenüber die hohe Energiedichte, d.h. auf kleinem Raum viel Energie speichern zu können. Die Reichweite des Verbrennungsmotors bis zum nächsten Tankvorgang ist daher üblicherweise größer als die Reichweite eines batteriebetriebenen Elektrofahrzeugs bis zum nächsten Ladevorgang.

Pkw-Bestand nach Antriebs- bzw. Kraftstoffart 2006-2013



Quelle: KBA, Stand: 1/2013

- **Verbrennungsmotoren**

Konventionelle Verbrennungsmotoren wie Diesel- und Ottomotoren nutzen flüssige Energieträger wie fossile Diesel- oder Ottokraftstoffe bzw. *Biokraftstoffe* wie *Biodiesel* und Pflanzenöl oder *Bioethanol*. Diese Antriebe dominieren mit großem Abstand sowohl den Bestand (42,8 Mio. von 43,4 Mio. Pkw) als auch die neu zugelassenen Pkw. Andere Antriebe bleiben bisher Nischenprodukte: Rund 0,5 Mio. Pkw werden mit Flüssiggas (auch: Autogas, LPG, Liquefied Petroleum Gas) betrieben. Dieser Antrieb hat einen starken Zuwachs erfahren. Flüssiggas wird in umgerüsteten Ottomotoren eingesetzt. Gasmotoren nutzen fossiles Erdgas (CNG, Compressed Natural Gas) oder aufbereitetes Biogas (*Biomethan*). Ihre Zahl ist ebenfalls gestiegen, ist mit einem Anteil von knapp 76.000 Pkw auf dem Pkw-Markt jedoch noch gering.

- **Elektromotoren**

Rein elektrisch betriebene Pkw beziehen ihre Energie ausschließlich als Strom aus der Steckdose. Eine Batterie wird dazu an einer Ladestation (Steckdose) aufgeladen. Entscheidend ist dabei vor allem die Speicherkapazität der eingesetzten Batterie (Akku), welche die Reichweite des Fahrzeugs bestimmt. 2013 waren in Deutschland nur 7.000 Elektro-Pkw zugelassen.

- **Hybridantriebe**

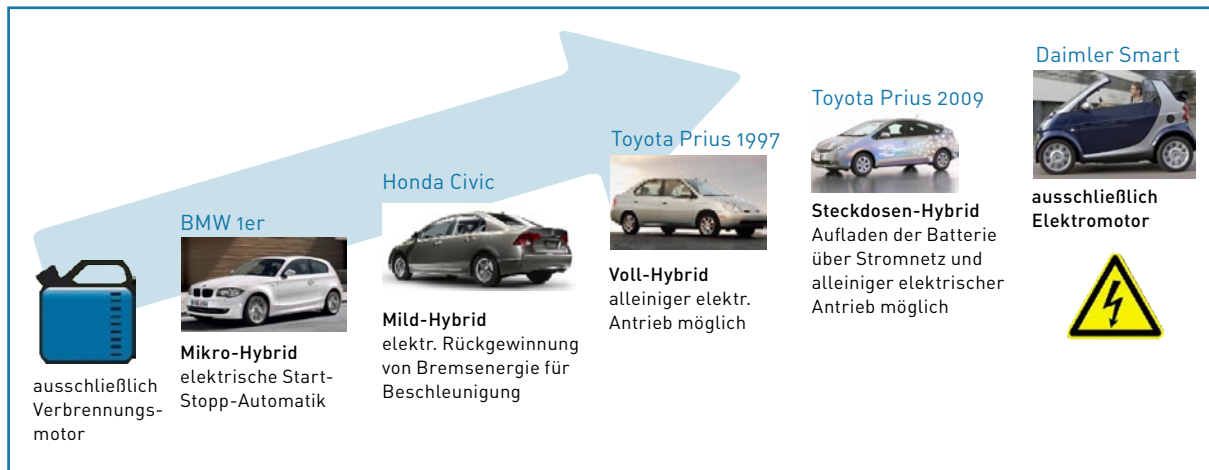
Pkw mit Hybridantrieb sind „Zwitter“. Sie verfügen sowohl über einen Verbrennungsmotor als auch über einen Elektromotor. Wenn die Batterie ausschließlich durch die Rückgewinnung von Bremsenergie an Bord mit Strom gespeist wird und kein Strom aus dem Netz geladen wird, handelt es sich um eine Form des Hybridantriebs. Der im Verbrennungsmotor eingesetzte Brennstoff wird auf diese Weise besonders effizient genutzt. Lässt sich die Batterie auch durch externe Stromzufuhr aus dem Stromnetz aufladen, handelt es sich um ein „Plug-In Hybrid“-Fahrzeug. Je größer die Batterie, desto geringer die Bedeutung des Verbrennungsmotors, der dann nur noch als „Notstromaggregat“ dient zur Verlängerung der Reichweiten über die Speicherkapazität der Batterie hinaus. Der Anteil von Pkw mit Hybridantrieb ist seit 2006 stark gestiegen auf 65.000 Pkw im Jahr 2013.

- **Brennstoffzellen-/Wasserstoffantriebe**

Brennstoffzellenfahrzeuge wandeln *Wasserstoff* mithilfe einer elektrochemischen Brennstoffzelle in Strom um, mit dem dann das Fahrzeug angetrieben wird. Ein Vorteil ist die hohe Energiedichte des *Wasserstoffs*. Im Vergleich zu rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen verfügen sie daher über eine höhere Reichweite. Eine breite Markteinführung von Pkw mit Brennstoffzelle oder alternativen Antriebskonzepten wie z.B. Verbrennungsmotoren, die *Wasserstoff* nutzen, ist noch nicht absehbar.³³

³³ Öko-Institut: Strombasierte Kraftstoffe im Vergleich. Stand heute und die Langfristperspektive. Working Paper, Freiburg/Darmstadt/Berlin, Oktober 2013.

Elektromobilität hat unterschiedliche Elektrifizierungsgrade



Energieverbrauch

Von den rund 2.100 Petajoule Energieverbrauch des Straßenverkehrs in Deutschland im Jahr 2011 sind rund 1.500 PJ (ca. 70 Prozent) auf Pkw zurückzuführen. Da trotz der technischen Vielzahl von Antrieben nahezu alle Pkw (98,5 Prozent) mit Otto- oder Dieselmotor fahren, setzt sich der Energieverbrauch des Pkw-Verkehrs in Deutschland fast ausschließlich aus fossilem Dieselmotor (ca. ein Drittel des Kraftstoffverbrauchs) und fossilem Ottomotor (ca. zwei Drittel des Verbrauchs) zusammen.³⁴ Biokraftstoffe deckten 2012 insgesamt 5,7 Prozent des gesamten deutschen Kraftstoffverbrauchs.

Pkw sind aus energetischer Sicht ineffiziente Verkehrsmittel: Sie weisen – nach Flugzeugen – den pro *Personenkilometer* höchsten Energieverbrauch auf. Der Pkw ist im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln besonders niedrig ausgelastet. Durchschnittlich fahren nur 1,5 Personen im Pkw.

Politische Rahmenbedingungen

Der Pkw-Verkehr, die Zusammensetzung des Pkw-Bestands und dessen Energieverbrauch werden von einer Vielzahl politischer Regulierungen und Zielsetzungen beeinflusst.

- Flottengrenzwerte**

Im Zusammenhang mit den Klimaschutzzielen der EU im Verkehrsbereich gab es in den 1990er Jahren eine erst freiwillige Selbstverpflichtung der europäischen Autoindustrie. Es wurde angepeilt, die durchschnittlichen CO₂-Emissionen der zugelassenen Neuwagenflotten bis 2008 auf durchschnittlich 140 Gramm CO₂/km zu reduzieren. Das hätte bedeutet, dass ein Pkw beim Zurücklegen eines Kilometers durch Verbrennen eines fossilen Kraftstoffs in seinem Motor nicht mehr als 140 g CO₂ ausstoßen darf. Dieser geplante Flottengrenzwert konnte allerdings nicht erreicht werden. Daher setzte die EU-Kommission verbindliche Vorschriften zu maximalen Emissionen durch.³⁵ Für den Zeitraum 2012 bis 2015 gilt für die in der EU neu zugelassenen Pkw ein Grenzwert von maximal 130 g CO₂/km. Dabei werden je Energieeinheit eines fossilen Kraftstoffs stets identische Emissionen aus der Verbrennung angesetzt. Verbrennt ein Pkw mit Dieselmotor mehr als 4,9 Liter fossilen Dieselmotorkraftstoffs auf einer Entfernung von 100 km, überschreitet er die durchschnittlichen Emissionen von 130 g CO₂/km. Die CO₂-Flottengrenzwerte der EU für Neuwagen üben damit Druck auf die Hersteller aus, immer sparsamere Motoren zu entwickeln. Nach und nach kann damit der verbrauchsintensive Pkw-Bestand durch energieeffizientere Fahrzeuge

³⁴ IfEU: Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960 – 2030. TREMOD, Version 5.25, nach Dena/Total 2012: Verkehr. Energie. Klima. Alles Wichtige auf einen Blick. Berlin, Oktober 2012.

³⁵ KBA: Emissionen und Kraftstoffe. Fachartikel. Flensburg, März 2011.

ausgetauscht werden. Lagen die durchschnittlichen Emissionen deutscher Neuwagen 2001 mit 179 g CO₂/km (EU-Durchschnitt: 169 g) in der EU noch mit Schweden an der Spitze, so sanken sie bis 2012 auf nur noch 143 g CO₂/km (EU-Durchschnitt: 133 g).³⁶

CO₂-Grenzwerte der EU zwingen Pkw-Hersteller zum Bau sparsamerer Modelle³⁷

Kraftstoff	Flottengrenzwert (g CO ₂ /km) 2012-2015	max. Verbrauch auf 100 km	Flottengrenzwert (g CO ₂ /km) Vorschlag 2020	max. Verbrauch auf 100 km
Diesel	130	4,9 l	95	3,6 l
Benzin	130	5,6 l	95	4,1 l

Der Plan der EU-Kommission zur Fortschreibung der Flottengrenzwerte sieht vor, den durchschnittlichen CO₂-Ausstoß bis 2020 auf 95 g CO₂/km zu reduzieren. In der Zwischenzeit sollen die Hersteller den Anteil an sparsamen Pkw in ihren jeweiligen Flotten, d.h. den von ihnen abgesetzten Fahrzeugen, konsequent erhöhen. Bei Nichterreichen drohen Geldstrafen. Um die Ziele, die für jedes Jahr bis 2020 strengere Kriterien vorsehen, leichter erfüllen zu können und technische Innovationen zu fördern, ist eine Mehrfachanrechnung vorgesehen (sog. „Supercredits“). Besonders sparsame Pkw-Modelle mit einer CO₂-Emission von 50 g CO₂/km und weniger sollen 3,5-fach auf das Erreichen des Flottengrenzwertes angerechnet werden dürfen. Die „Supercredits“ würden bis 2018 auslaufen.³⁸

- **Ausbauziel für Elektromobilität**

Die Bundesregierung hat sich anlässlich der Nationalen Strategiekonferenz *Elektromobilität* im November 2008 ein Ziel von 1 Million Elektrofahrzeugen in Deutschland bis 2020 (5 Mio. bis 2030) gesetzt. Die deutsche Automobilindustrie soll Leitanbieter und Deutschland soll Leitmarkt für Elektrofahrzeuge werden.³⁹ In mehreren Regionen wird der gezielte Einsatz von Elektrofahrzeugflotten durch die Bundesregierung finanziell gefördert. Aus Sicht des Ziels von 1 Mio. Elektrofahrzeugen im Jahr 2020 sind die jährlichen Zuwachsraten bisher jedoch zu gering. Gründe sind die hohen Anschaffungskosten, die sich vor allem aus den hohen Batteriekosten ergeben. Zwar weisen Elektrofahrzeuge aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades und niedrigen Stromverbrauchs nur einen Bruchteil der Betriebskosten von Pkw mit Verbrennungsmotor auf. Dieser Vorteil wird jedoch durch die batteriebedingten Mehrkosten noch zunichte gemacht.⁴⁰ Unter optimistischen Annahmen, bei stark steigenden fossilen Kraftstoffkosten und schnell sinkenden Batteriekosten, wäre ein schneller, massiver Markthochlauf bis 2020 nach Erkenntnissen des Fraunhofer ISI möglich.⁴¹

- **Besteuerung für spezifische Antriebe bzw. Kraftstoffe**

Neben den Flottengrenzwerten und dem Ausbauziel für *Elektromobilität* hat auch die Besteuerung der Fahrzeuge bzw. Antriebe und Kraftstoffe eine Lenkungswirkung auf die Entwicklung des Pkw-Verkehrs. So sind Befreiungen reiner *Biokraftstoffe* von der Energiesteuer 2013 weitgehend ausgelaufen. Laut Gesetz besonders förderungswürdige *Biokraftstoffe* mit geringen Marktanteilen wie *Biomethan* oder reines *Bioethanol* (E85-Kraftstoff) sind bis Ende 2015 steuerbefreit. Die

³⁶ International Council on Clean Transportation (ICCT): European Vehicle Market Statistics. Pocketbook 2013. Berlin, Oktober 2013.

³⁷ Europäische Kommission: Reducing CO₂ emissions from passenger cars, 31. Oktober 2013; <http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars>.

³⁸ KBA: CO₂-Monitoring und Energieeffizienz. Fachartikel. Flensburg, Mai 2013.

³⁹ BMVBS: Elektromobilität - Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter. Berlin, Juni 2011.

⁴⁰ EnergieImpuls OWL: Klimafreundliche Elektromobilität: Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020. Bielefeld, Mai 2010.

⁴¹ Fraunhofer ISI: Markthochlaufsenarien für Elektrofahrzeuge. Karlsruhe, September 2013.

fossilen Kraftstoffe Erdgas (CNG) und Flüssiggas (LPG) sind bis 2018 von der ansonsten auf Kraftstoffe im Verkehr erhobenen Energiesteuer befreit. Die Kraftfahrzeugsteuer wird nach CO₂-Emissionen, Schadstoffemissionen und Hubraum ermittelt. Damit kann ein zusätzlicher Anreiz für eine stärkere Nutzung von energieeffizienten Pkw geschaffen werden. Ausschließlich elektrisch betriebene Pkw (und andere Straßenfahrzeuge) sind von der Kfz-Steuer während eines Zeitraums von zehn Jahren befreit.

- **Investitionszuschüsse für Pkw-Kauf**

Direkte staatliche Subventionen können für die Anschaffung bestimmter Pkw angeboten werden. So kam es durch die im Rahmen der Konjunkturprogramme 2008/2009 etablierte Umweltprämie (sog. „Abwrackprämie“) zu einem Höchststand bei den Neuzulassungen, insbesondere von Kleinwagen. Käufer von Neuwagen erhielten eine Prämie von 2.500 Euro, wenn gleichzeitig ein mindestens neun Jahre alter Pkw verschrottet wurde. Für Elektrofahrzeuge werden Kaufzuschüsse oder vergleichbare Markteinführungsprogramme gefordert, um die Kostennachteile gegenüber Pkw mit Verbrennungsmotoren zu überwinden. Durch eine steigende Nachfrage nach Elektrofahrzeugen könnten – so die Erwartung – dank effizienterer Massenproduktion die Kosten insbesondere der Batterien gesenkt werden. Die Bundesregierung hat bisher jedoch keine direkten staatlichen Beihilfen für die Anschaffung von Pkw mit elektrischem Antrieb eingeführt.

- **Infrastrukturausbau und -nutzung**

Wie sich der Pkw-Verkehr und die Pkw-Bestände entwickeln, hängt auch von der Straßeninfrastruktur ab. Der nach den Prognosen wachsende Straßenverkehr soll weiterhin mit entsprechendem Straßenzubau begleitet werden. Die Länge des deutschen Autobahnnetzes wuchs von 11.200 km im Jahr 1995 auf 12.800 km im Jahr 2012 (Anstieg um 14,3 Prozent). Für den weiteren Ausbau sind in einem zehnjährigen Planungshorizont von 2005 bis 2015 vom Verkehrsministerium im Bedarfsplan des Fernstraßenausbauänderungsgesetzes insgesamt 80 Mrd. Euro Gesamtinvestitionen vorgesehen. Für den „vordringlichen Bedarf“ sind bis 2015 rund 47 Mrd. Euro für den Neu- und Ausbau von 4.100 km Autobahnen sowie von 5.500 km Bundesstraßen und Ortsumgehungen vorgesehen.⁴²

Ein gezielter bundesweit geförderter Ausbau der Ladeinfrastruktur (z.B. öffentliche Ladesäulen) für Elektrofahrzeuge fehlt bisher, könnte die Akzeptanz und Markteinführung von Pkw mit elektrischem Antrieb aber unterstützen. Um Anreize für die Nutzung von Elektrofahrzeugen zu schaffen, sind auch Privilegien hinsichtlich der Infrastruktur in der Diskussion, z.B. spezielle (kostenfreie) Parkflächen oder die Erlaubnis für Elektrofahrzeuge, Busspuren nutzen zu dürfen.

Zahlreiche deutsche Städte haben Fahrverbote für bestimmte Innenstadtbereiche eingerichtet, um Grenzwerte für die Feinstaubbelastung einhalten zu können. Die so genannten Umweltzonen dürfen nur mit Fahrzeugen befahren werden, die wenig Feinstaub emittieren. Hier sind Elektrofahrzeuge als lokal emissionsfreie Verkehrsmittel im Vorteil. Dieser indirekte Anreiz ist jedoch nicht stark genug, um den gewünschten deutlichen Zuwachs von Elektrofahrzeugen zu befördern. Eine weitere indirekte Steuerungswirkung könnte durch Straßenbenutzungskosten wie z.B. Mautgebühren für Autobahnen, Landstraßen oder Innenstadtbereiche ausgeübt werden.

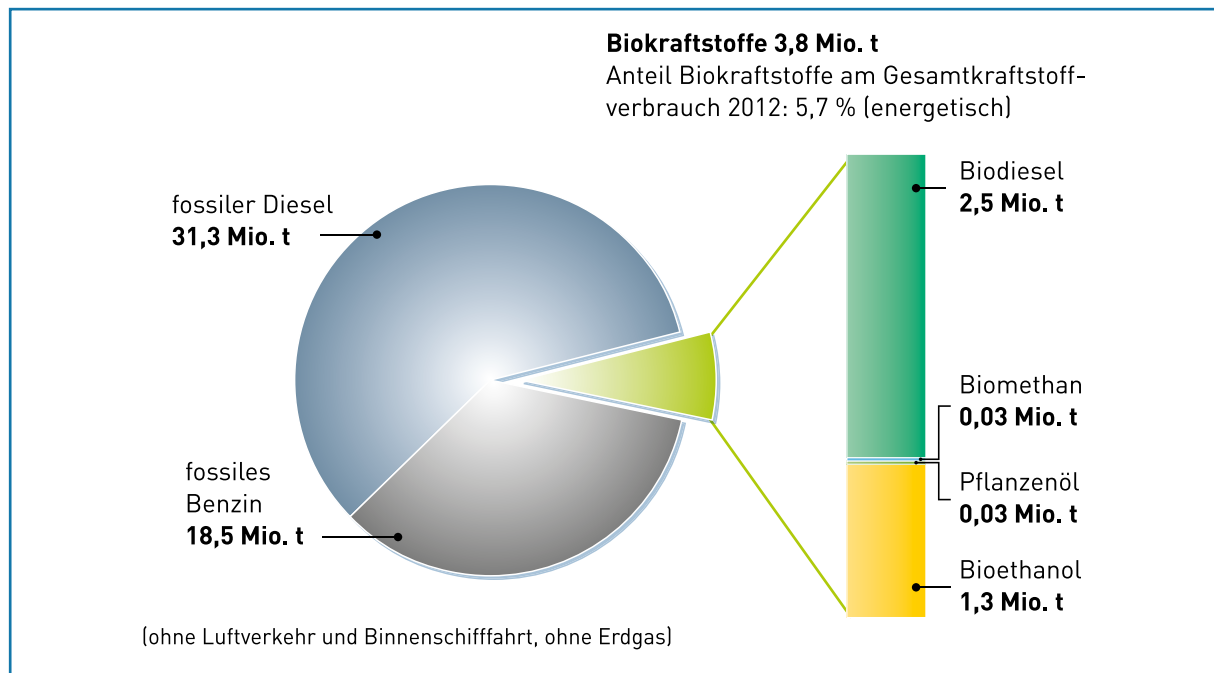
⁴² BMVBS: Verkehrsträger Straße – Straßenbau;

http://www.bmvbs.de/DE/VerkehrUndMobilitaet/Verkehrstraeger/Strasse/strasse_node.html, 22. November 2013.

Chancen für Erneuerbare Energien

Für das Erreichen des europäischen und deutschen Ausbauziels von 10 Prozent Anteil Erneuerbarer Energien am Energieverbrauch des Verkehrs bis 2020 spielt der Pkw-Verkehr eine zentrale Rolle. Dieser macht den größten Verbrauchsanteil des Verkehrssektors aus. Da erneuerbarer Strom angesichts der geringen Anzahl von Elektrofahrzeugen allenfalls mittelfristig eine größere Rolle spielen wird, sind *Biokraftstoffe* der mit Abstand wichtigste erneuerbare Energieträger, um das Ausbauziel ausfüllen zu können.

Biokraftstoffe und fossiler Kraftstoffverbrauch in Deutschland 2012



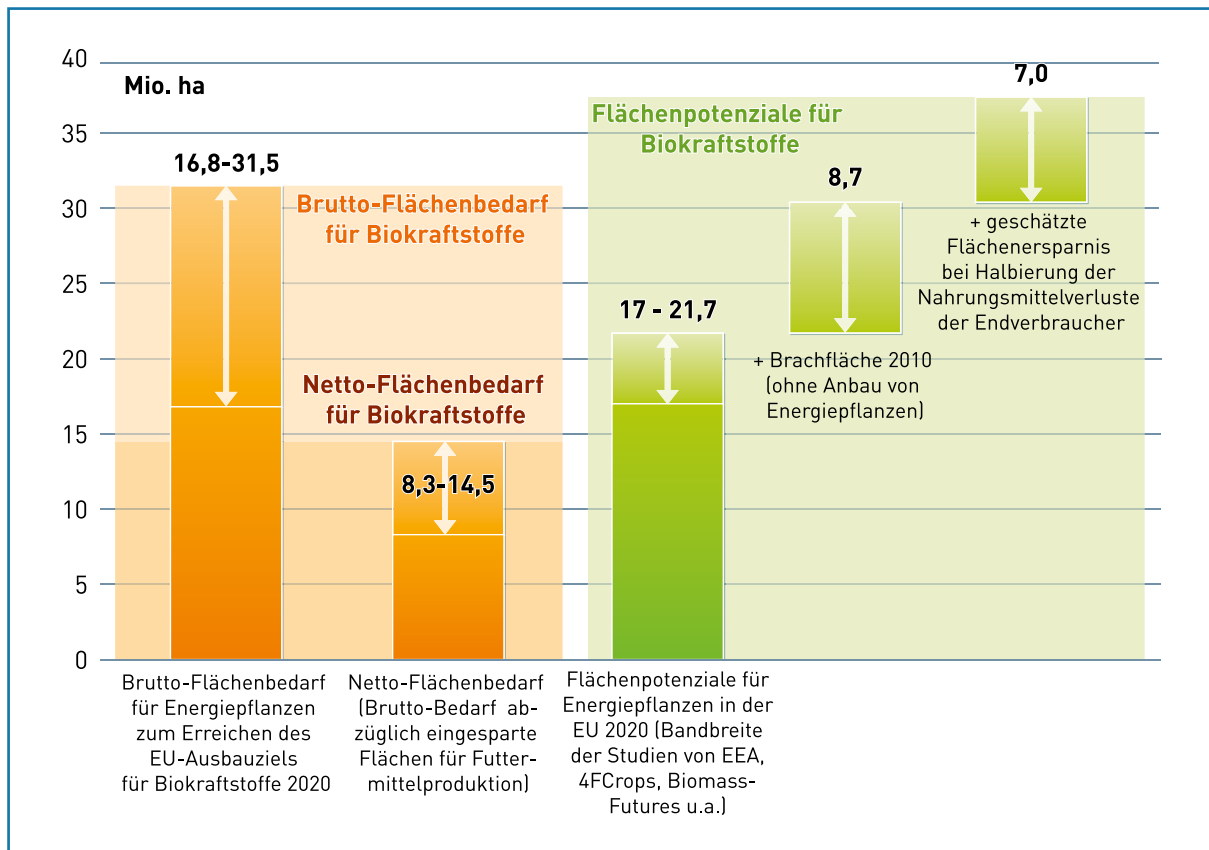
Dennoch kann der aktuelle Kraftstoffverbrauch des Pkw-Verkehrs (und anderer Verbrennungsmotoren) nicht vollständig durch *Biokraftstoffe* substituiert werden. Technik, Potenzial und Politik bremsen den weiteren Ausbau:

- **Technik:** Technisch wird der Einsatz von *Biokraftstoffen* durch den Bestand der Verbrennungsmotoren gedeckelt: Wenn *Biokraftstoffe* fossilen Kraftstoffen beigemischt werden, erlauben die Kraftstoffqualitätsstandards bisher nur maximale Anteile von 7 Volumenprozent *Biodiesel* (B7) am fossilen Diesel und 10 Volumenprozent *Bioethanol* am Benzin (E10). Höhere Beimischungen wären grundsätzlich möglich, erfordern jedoch Freigaben bzw. technische Anpassungen durch die Pkw- bzw. Motoren- und Fahrzeughersteller. Auch müsste der Gesetzgeber die entsprechenden Kraftstoffnormen anpassen. Nur noch wenige Fahrzeuge sind von den Herstellern für den Verbrauch von reinen *Biokraftstoffen* (B100, E85, reines Pflanzenöl) freigegeben. Teilweise würden umfangreiche Umrüstungen notwendig.

- Potenzial:** Das Potenzial von Biomasse ist limitiert, aber ausreichend, um das Ausbauziel von 10 Prozent Anteil am Verbrauch bis 2020 zu erfüllen. Weil *Biokraftstoffe* aus nachwachsenden Rohstoffen und Abfallprodukten gewonnen werden, sind sie grundsätzlich ein erneuerbarer Energieträger. Begrenzender Faktor ist allerdings die verfügbare Biomasse bzw. landwirtschaftliche Anbaufläche. Diese wird weiterhin vor allem für die Produktion von Futter- und Lebensmitteln benötigt. Das muss nicht zu *Flächenkonkurrenzen* führen. Einerseits kann und muss eine weitere Steigerung der Produktivität in der Landwirtschaft, also die Erhöhung des Ertrags der Ackerpflanzen, künftig dafür sorgen, dass Teller, Trog und Tank gefüllt werden.

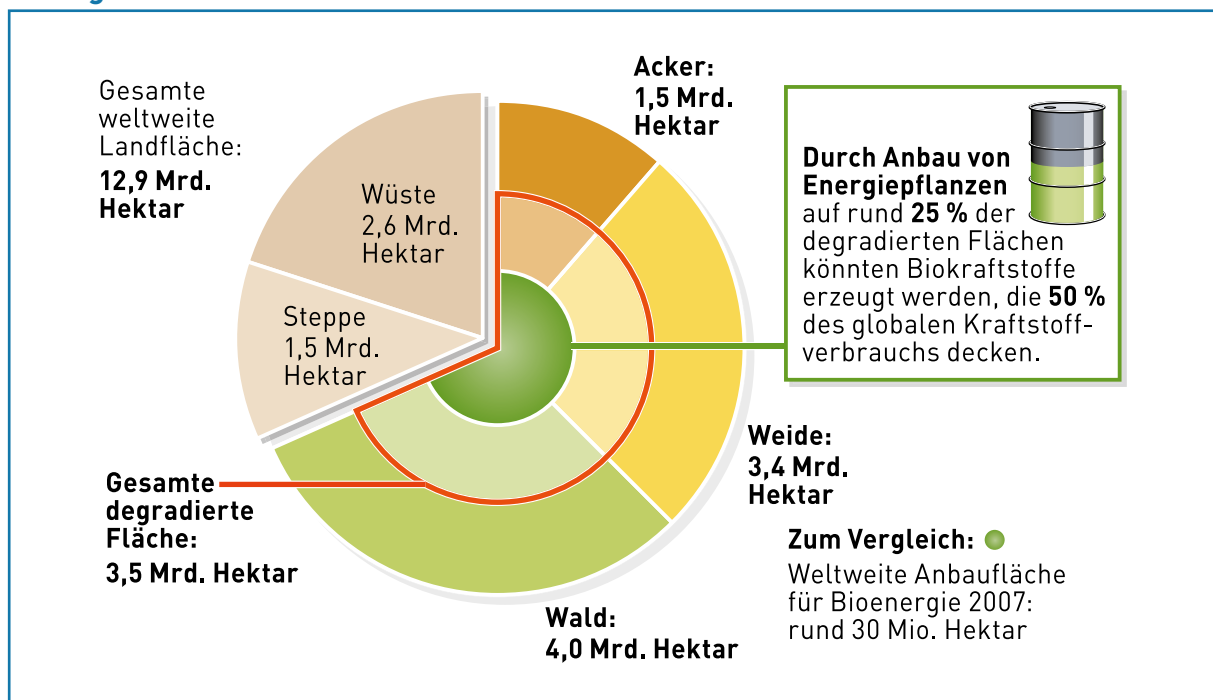
Gleichzeitig stehen weltweit ausreichende Flächenpotenziale von Brachflächen und degradierten landwirtschaftlichen Flächen zur Verfügung, die mit *Energiepflanzen* rekultiviert werden können. Durch den Anbau von *Energiepflanzen* auf nur einem Viertel der weltweit *degradierten Flächen* könnten *Biokraftstoffe* zur Verfügung gestellt werden, die rund die Hälfte des derzeitigen globalen Kraftstoffverbrauchs abdecken.

Ausreichende Flächenpotenziale für den Anbau von Energiepflanzen zum Erreichen des EU-Ausbauziels 2020



Im globalen Durchschnitt werden derzeit allerdings nur rund zwei bis drei Prozent der Weltagrarfläche von *Energiepflanzen* für Bioenergie, darunter vor allem für *Biokraftstoffe* belegt. In Deutschland wurden 2012 insgesamt 950.000 ha für den Anbau von *Energiepflanzen* zur *Biodiesel*- und *Bioethanol*produktion genutzt. Das sind 5,7 Prozent der gesamten landwirtschaftlich genutzten Flächen. Zusammen mit geringeren Mengen importierter *Biokraftstoffe* konnten damit 5,7 Prozent des Kraftstoffverbrauchs des gesamten Verkehrssektors abgedeckt werden. Da zusätzlich *Biokraftstoffe* aus Deutschland exportiert wurden, wären angebotsseitig noch höhere Anteile möglich. Auch optimistische Potenzialschätzungen erwarten selbst bei starkem Rückgang des Kraftstoffverbrauchs und weiterem Anstieg der *Biokraftstoff*produktion jedoch maximal einen Anteil von 21 Prozent *Biokraftstoffen* im Jahr 2020, entsprechend 111 Mrd. kWh Endenergie.⁴³

Geringer Flächenbedarf für hohe Anteile von Biokraftstoffen

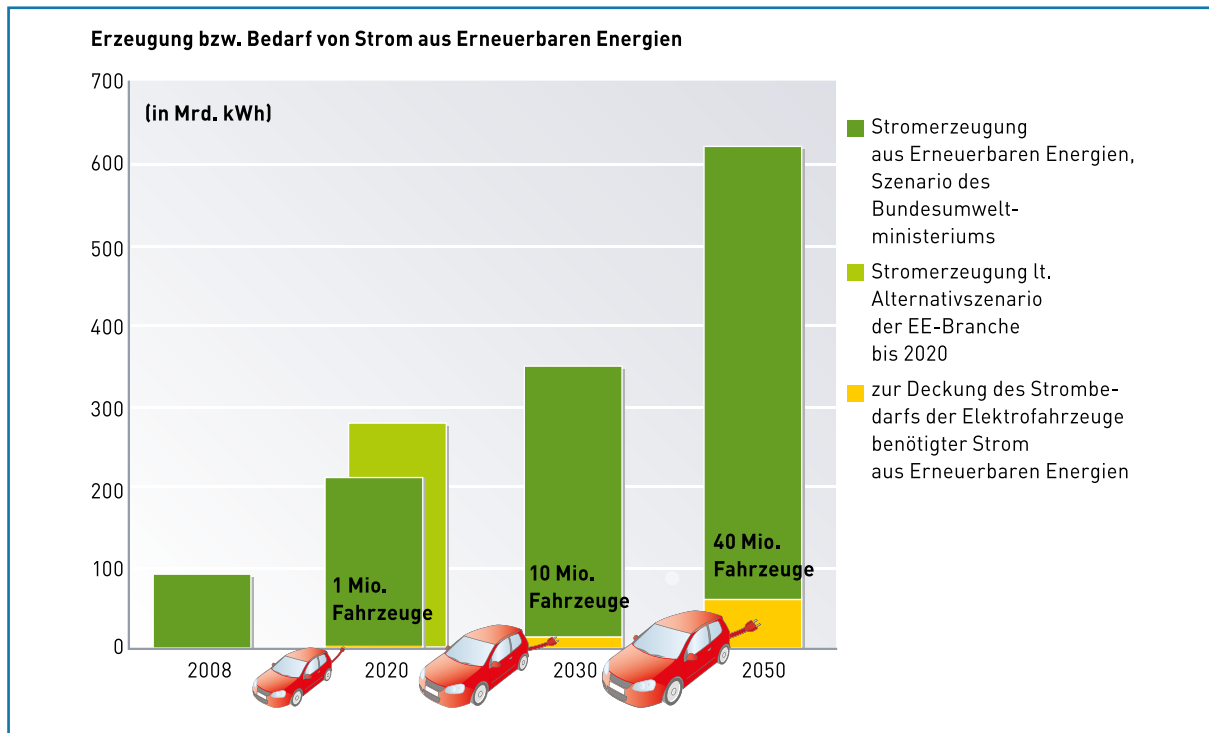


Quelle: FAO; Metzger und Hüttermann, 2/2009

Angesichts des relativ geringen spezifischen Stromverbrauchs auch größerer Elektrofahrzeugflotten ist die Frage der Potenziale bei der *Elektromobilität* weniger drängend als bei den *Biokraftstoffen*. Das Energieszenario der Bundesregierung vom August 2010 erwartet im Jahr 2020 eine erneuerbare Stromerzeugung von rund 200 Mrd. kWh und zwischen 256 bis 287 Mrd. kWh im Jahr 2050. Die Langfristszenarien des Bundesumweltministeriums rechnen im Jahr 2020 mit 235 bis 239 Mrd. kWh bzw. im Jahr 2050 mit 462 bis 774 Mrd. kWh erneuerbarer Stromerzeugung in Deutschland. Der Stromverbrauch von einer Million Elektrofahrzeugen würde mit ca. 2 Mrd. kWh nur einen zu vernachlässigenden Anteil dieses Potenzials in Anspruch nehmen. Selbst bei einer vollständigen Elektrifizierung des aktuellen deutschen Pkw-Bestandes würden 40 Mio. Elektrofahrzeuge mit rund 60 Mrd. kWh auch unter konservativen Annahmen höchstens ein Fünftel der erneuerbaren Stromerzeugung des Jahres 2050 verbrauchen.

⁴³ AEE: Erneuerbare Energien 2020. Potenzialatlas Deutschland. Berlin, Januar 2010.

Erneuerbare Elektromobilität: Wenig Strom für viele Fahrzeuge



Quellen: DGS/BSM, BMU-Leitszenario E2/E3, AEE-/BEE-Branchenprognose 2020, Stand: 7/2009

- Politik:** Zwar gilt weiterhin das Ausbauziel von 10 Prozent Erneuerbaren Energien im Verkehr bis 2020, doch sieht ein Vorschlag der EU-Kommission vom Oktober 2012 eine Revision vor: *Energiepflanzen*, die gleichzeitig als Futter- und Nahrungsmittelpflanze verwendet werden können, sollen nur noch bis zu 5 Prozent auf das Ausbauziel für Erneuerbare Energien im Verkehrssektor angerechnet werden dürfen.⁴⁴ Die verbleibenden 5 Prozent sollen mit *Biokraftstoffen* aus biogenen Reststoffen erfüllt werden bzw. mit Strom aus Erneuerbaren Energien, erneuerbarem *Wasserstoff* oder synthetischem Methan aus Erneuerbaren Energien. Da absehbar ist, dass bis 2020 nur geringe Beiträge dieser erneuerbaren Energieträger in Pkw und anderen Fahrzeugen zum Einsatz kommen werden, sieht die EU eine Mehrfachtanrechnung auf das prozentuale Ziel vor. *Biokraftstoff* aus Reststoffen zählt dann doppelt oder sogar vierfach – obwohl der Energiegehalt identisch bleibt und mengenmäßig nicht mehr fossile Kraftstoffe ersetzt werden können. Wenn nur ein Liter *Biokraftstoff* verbraucht, aber dafür zwei oder vier Liter auf das 10-Prozent-Ziel angerechnet werden, fällt die Zugkraft des Ausbauziels für erneuerbare Mobilität entsprechend schwächer aus.

⁴⁴ Europäische Kommission: Neuer Vorschlag der Kommission zur Verbesserung der Klimabilanz bei der Herstellung von Biokraftstoffen. Pressemitteilung, 12. Oktober 2012.

Für die in der EU verbrauchten *Biokraftstoffe* gelten verpflichtende *Nachhaltigkeitsstandards*, die im Zusammenhang mit dem 10-Prozent-Ziel festgelegt wurden. So müssen Anbieter u.a. über die gesamte Produktions- und Verbrauchskette eine Mindestreduktion von Treibhausgasen nachweisen. Der wichtigste erneuerbare Energieträger im Verkehrssektor sieht sich dennoch einer Vielzahl weiterer Vorwürfen ausgesetzt. Angesichts ihres bisher geringen Flächenbedarfs bleibt allerdings fragwürdig, ob der *Energiepflanzenanbau* für *Biokraftstoffe* tatsächlich Preisschwankungen an den Weltagrarmärkten zu verantworten und Nahrungsmittelknappheit in Entwicklungsländern verursacht hat. Der Einfluss ist begrenzt: Spekulation, Ernteaufälle und die hohen Erdölpreise haben Agrargüter seit 2007 deutlich verteuert. Viele Entwicklungs- und Schwellenländer verfügen unterdessen über ausreichende Anbauflächen für die Versorgung mit Lebensmitteln, die aber häufig brach liegen oder nur schwache Ernten abwerfen. Viele Landwirte haben dort angesichts billiger Agrarimporte aufgegeben. Außerdem fehlen Investitionen in Landwirtschaft und Infrastruktur. Es greift daher zu kurz, *Biokraftstoffe* zum Sündenbock seit Jahrzehnten bekannter agrarstruktureller Fehlentwicklungen zu machen.

Zu den *Biokraftstoffen* zählt auch das gasförmige *Biomethan*, dessen Nutzung Fahrzeuge mit Gasmotoren voraussetzt. Pkw mit Gasmotor kommen mittel- und langfristig auch in Frage für die Nutzung von synthetischem Methan aus erneuerbarem Strom (vgl. „Busverkehr“, S. 19). Grundsätzlich ist auch eine Nutzung von erneuerbarem *Wasserstoff* möglich, doch ist dieser Nutzungspfad Erneuerbarer Energien im Verkehr angesichts hoher Investitions- und Bereitstellungskosten fraglich.

Erneuerbarer Strom kann als Energieträger im Pkw-Verkehr erst mit einer steigenden Zahl von Elektrofahrzeugen eine größere Rolle spielen. Durch die hohe Effizienz des Elektromotors lassen sich grundsätzlich jedoch deutlich größere Anteile des Pkw-Verkehrs mit einer verhältnismäßig geringen Menge Erneuerbarer Energien antreiben – eine vollständige Elektrifizierung der Fahrzeuge vorausgesetzt.

Potenzial für die Energiewende im Verkehr

- **Effektive Substitution fossiler Energieträger**

Elektrofahrzeuge bieten eine Möglichkeit, erneuerbaren Strom direkt zu nutzen. Aus Sicht einer Energiewende im Verkehrssektor bieten sie die effizienteste erneuerbare Energieversorgung im Pkw-Verkehr. Ihr Beitrag zur Energiewende im Verkehr bleibt jedoch weitgehend theoretisch, solange keine nennenswerte Zahl von Elektrofahrzeugen auf den Straßen unterwegs ist.

Daher führt mittelfristig auch im Pkw-Verkehr kein Weg an *Biokraftstoffen* vorbei, zumal der – per se weniger effiziente – Verbrennungsmotor in diesem Mobilitätssegment weiterhin dominieren wird.⁴⁵ Sollen effektiv fossile Energieträger ersetzt werden, ist ein kritischer Blick auf die Klimabilanz notwendig, sowohl bei Elektrofahrzeugen als auch bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, die *Biokraftstoffe* unterschiedlicher Herkunft nutzen.

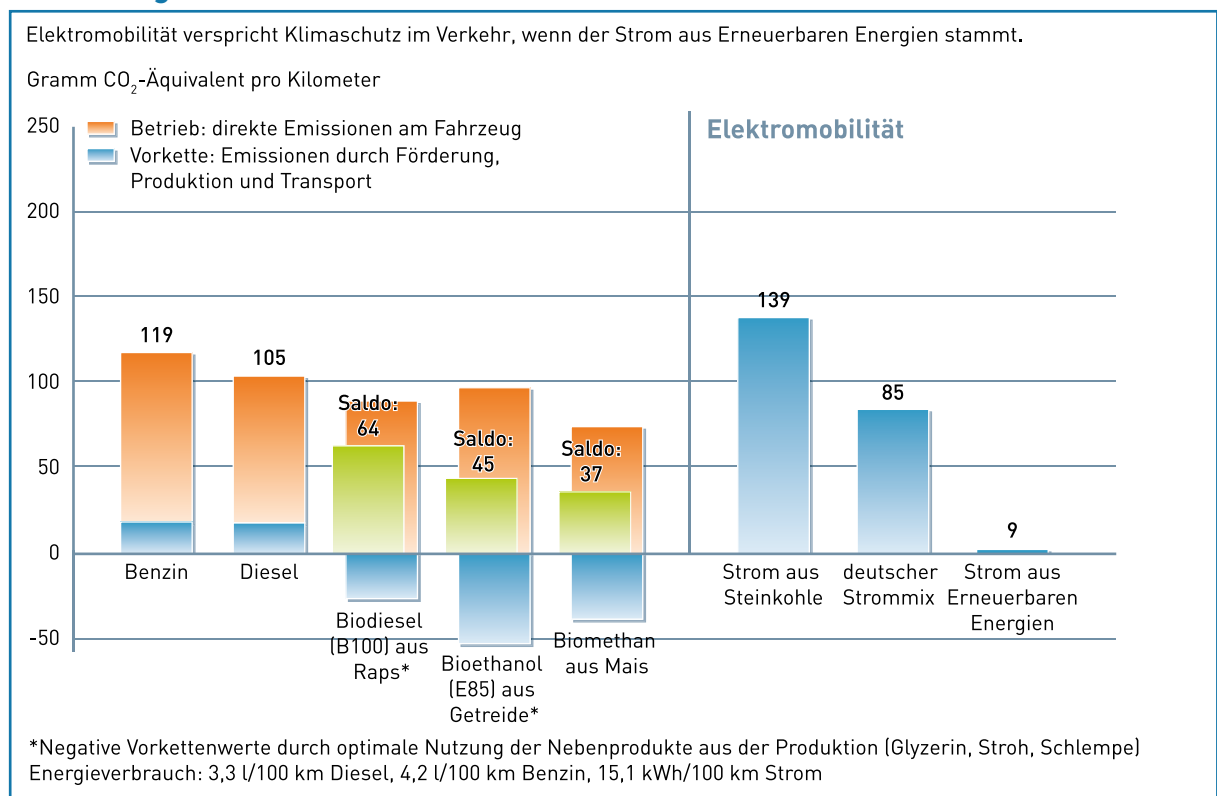
Damit Elektrofahrzeuge keine Mogelpackung für die Energiewende werden, muss der eingesetzte Strom selbstverständlich ausschließlich aus Erneuerbare-Energien-Anlagen stammen. Zwar verbrennen Elektrofahrzeuge selbst keinen fossilen Energieträger und sind damit auf den ersten Blick emissionsfrei. Doch ist die Klimabilanz des Elektrofahrzeugs immer nur so gut wie der eingesetzte Strom. Stammt dieser überwiegend aus Kohle- und Erdgaskraftwerken, wird weder die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern reduziert noch ein nennenswerter Beitrag für den Klimaschutz geleistet.

Entscheidend ist eine vollständige Klimabilanz, die nicht nur die Energieverbräuche und Emissionen des Fahrzeugs selbst analysiert. Dieser Blick auf die Emissionen vom Tank zum Rad („Tank to Wheel“-Bilanz) betrachtet ausschließlich die Emissionen des Motors. Je höher dessen Energieverbrauch und je niedriger dessen Effizienz, desto schlechter der CO₂-Wert. Die zuvor beschriebenen EU-Flottengrenzwerte setzen je verbrauchter Energieeinheit stets identische Emissionen aus der Verbrennung an. Nur was aus dem Auspuff kommt, ist relevant. Damit werden zwar sparsamere Motoren angereizt. Dass je nach Herkunft des Energieträgers jedoch höchst unterschiedliche Treibhausgasemissionen anfallen können, zeigen die genannten EU-*Nachhaltigkeitsstandards*. Diese berücksichtigen, dass je nach verwendeter Biomasse, je nach Anbauverfahren, Transport und Verarbeitung bei der *Biokraftstoff*produktion unterschiedlich große Mengen von Treibhausgasen entstehen bzw. vermieden werden können. Wird Palmöl von gerodeten Regenwaldflächen verwendet und mit hohem fossilem Energieaufwand zu *Biokraftstoff* umgewandelt, fallen noch vor dem Einsatz des *Biokraftstoffs* im Tank enorme Treibhausgasemissionen an. Werden dagegen heimische *Energiepflanzen* wie Raps oder Reststoffe effizient zur *Biokraftstoff*produktion genutzt, wird eine Netto-Treibhausgasreduktion erzielt gegenüber der Verwendung derselben Menge eines fossilen Kraftstoffs. Schließlich wird außer bei Dünger und Kraftstoff für das Pflügen des Ackers meist nur ein sehr geringer Einsatz fossiler Energieträger notwendig.

⁴⁵ Vergleich der Verbrauchsprognosen in Dena/VDA: Energieverbrauch und Energieträger im Straßenverkehr bis 2025. Berlin, April 2013.

Unverzichtbar sind daher „ganzheitliche“ Bilanzen einschließlich der Energieverbräuche und Emissionen der Vorkette, d.h. von der Quelle bzw. von der Anbaufläche über die Kraftstoffproduktion bis hin zur Verwendung im Fahrzeug („Well to Wheel“-Bilanz). In der Logik der EU-Flottengrenzwerte („Tank to Wheel“-Bilanz) wären klimafreundlicher *Biokraftstoff* und fossiler Diesel bilanziell identisch. Dass auch fossile Energieträger immer öfter nur mit immer höherem Energieaufwand gefördert und hergestellt werden können (z.B. Erdöl aus Teersanden, Schieferöl), bliebe ebenfalls außen vor. Die folgende Grafik vergleicht daher Treibhausgasemissionen unterschiedlicher Energieträger für unterschiedliche Antriebe eines typischen Pkw-Kleinwagens im Sinne einer vollständigen Klimabilanz einschließlich der Vorkette („Well to Wheel“-Bilanz).

Treibhausgasemissionen verschiedener Kraftstoffe und Antriebsarten



Quellen: JRC, UBA, Stand: 9/2013

Seit Anfang 2011 gilt in Deutschland die *Nachhaltigkeitsverordnung* für *Biokraftstoffe*, die sich aus den *Nachhaltigkeitsstandards* der 2009 verabschiedeten EU-Richtlinie zu Erneuerbaren Energien ableitet. *Biokraftstoffe* müssen nachweisen, dass sie über die gesamte Produktions- und Verbrauchskette („Well to Wheel“-Bilanz) mindestens 35 Prozent Treibhausgasemissionen gegenüber fossilen Kraftstoffen reduzieren (ab 2017: 50 Prozent). Außerdem muss der Herstellungsweg von den Anbauflächen der *Energiepflanzen* über die Verarbeitung bis zur *Biokraftstoff*produktion nachvollziehbar sein. So wird verhindert, dass die Ernte von gerodeten Regenwaldflächen und anderen ausgeschlossenen Anbauflächen verwendet wird. Dass diese „ökologischen Leitplanken“ eingehalten werden, garantieren verpflichtende Zertifizierungssysteme, deren Anwendung von unabhängigen Zertifizierungsstellen regelmäßig vor Ort überprüft wird. Nur wenn die *Nachhaltigkeitsstandards* nachweisbar eingehalten werden, dürfen die jeweiligen *Biokraftstoffe* auf die deutsche *Biokraftstoffquote* das EU-Ausbauziel von 10 Prozent Anteil Erneuerbarer Energien im Verkehrssektor angerechnet werden.⁴⁶

⁴⁶ AEE: Biokraftstoffe. Rahmenbedingungen, Klima- und Umweltbilanz, Marktentwicklungen. Renewes Spezial 54, Februar 2012; AEE: Zertifizierung von Bioenergie. Wie Nachhaltigkeit in der Praxis funktioniert. Renewes Spezial 53, Dezember 2011.

Damit erweisen sich *Biokraftstoffe* als internationaler Vorreiter für verbindliche qualitative Standards in den Produktionsketten der Land- und Energiewirtschaft. Für die Produktion von Futter- und Nahrungsmitteln gelten im Weltagrarhandel bisher weder ökologische Mindeststandards noch Vorgaben zur Reduktion von Treibhausgasen. Auch fossile Kraftstoffe können bisher ohne jegliche *Nachhaltigkeitsstandards* oder Klimaschutzziele gefördert und in den Markt gebracht werden.

- **Verknüpfung von erneuerbarem Stromsektor und Verkehrssektor**

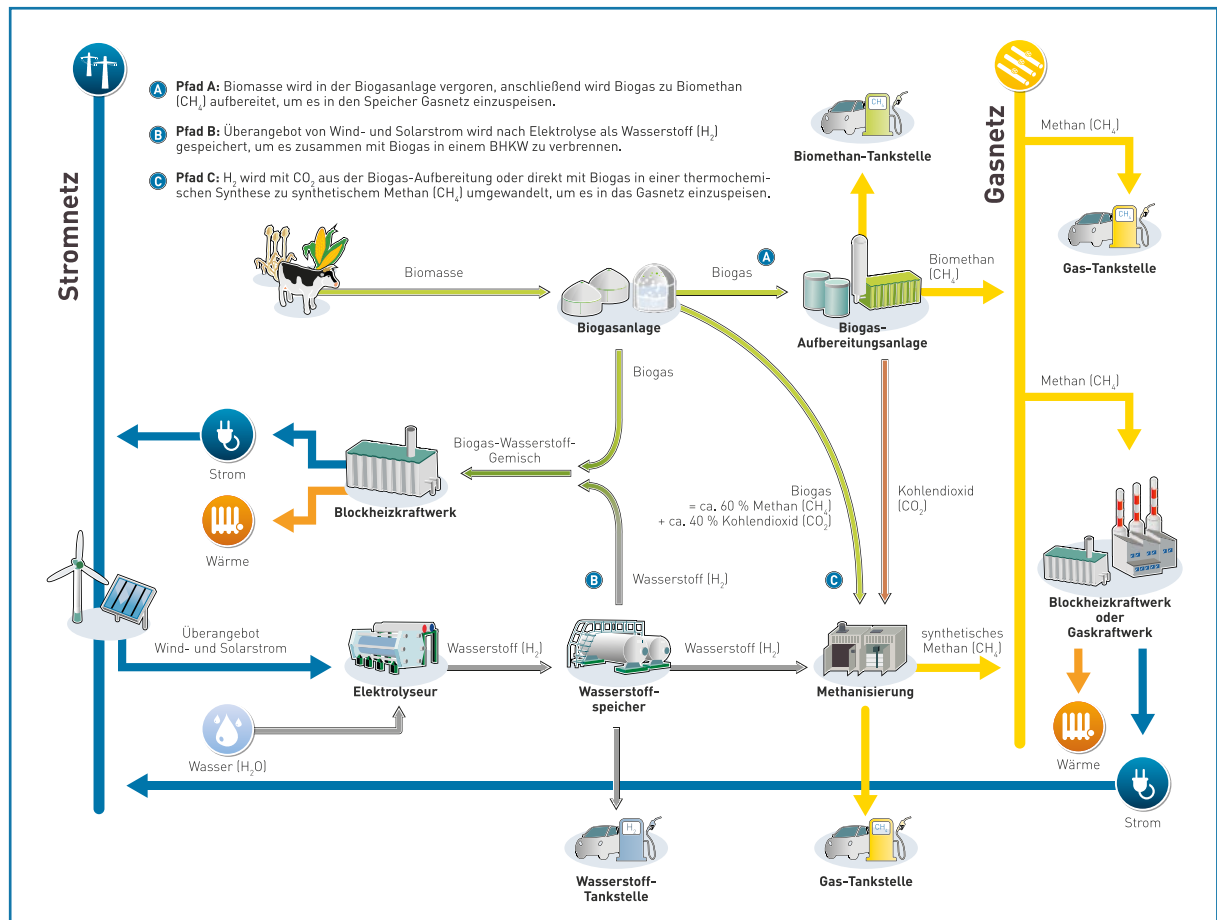
Biokraftstoffe sind zwar der mittelfristig wichtigste Pfeiler einer erneuerbaren Energieversorgung des Verkehrs, können aber aufgrund der beschriebenen Hürden hinsichtlich Technik, Potenziale und Politik nur einen Teil des Bedarfs decken. Ein zunehmendes, zeitlich begrenztes Überangebot von erneuerbarem Strom⁴⁷ spricht für eine stärkere Verknüpfung des Stromsektors mit dem Verkehrssektor. Elektrofahrzeuge bieten die beschriebene Option, zum Ausgleich von erneuerbarem Stromangebot und Stromnachfrage beizutragen. Eine Speicher- und Ausgleichsfunktion können auch die Energieträger *Wasserstoff*, *synthetisches Methan* und *Biomethan* übernehmen.

Die nachfolgende Grafik verdeutlicht, wo Stromerzeugung und Energieverbrauch des Verkehrs ineinandergreifen könnten: Aus dem Stromnetz wird ein erneuerbares Überangebot per Elektrolyse in erneuerbaren *Wasserstoff* (H_2) umgewandelt. *Wasserstoff* könnte dann

1. direkt als Energieträger für Brennstoffzellenfahrzeuge zur Verfügung stehen oder
2. mit Biogas vermischt und bedarfsgerecht in einem Biogas-Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt werden oder
3. in einer thermochemischen Synthese zusammen mit CO_2 aus Biogasanlagen oder auch aus der Biogas-Aufbereitung durch *Methanisierung* zu synthetischem Methan (CH_4) umgewandelt werden. Dieses würde in das bestehende Gasnetz eingespeist, um es an anderer Stelle als Kraftstoff für Fahrzeuge mit Gasmotor zu entnehmen oder in BHKW oder Gaskraftwerken zur bedarfsgerechten Strom- und Wärmeproduktion dienen.

⁴⁷ AEE: Bioenergie im Strommarkt der Zukunft. Renews Spezial 67, August 2013.

Verknüpfung von erneuerbarem Stromsektor und Verkehrssektor



Stand: 05/2013, Quellen: eigene Darstellung nach Sterner/Fraunhofer IWES und Diwald/Enertrag

Aus Gründen der *Energieeffizienz* ist die direkte Nutzung von Strom in Elektrofahrzeugen allerdings zu bevorzugen. Der eingesetzte *Wasserstoff* muss zuvor mit hohem Energieaufwand hergestellt werden. Weitere Wirkungsgradverluste ergeben sich, wenn *Wasserstoff* in *synthetisches Methan* umgewandelt wird. Gegenüber einer eingesetzten erneuerbaren Kilowattstunde müssen 60 bis 80 Prozent Wirkungsgradverluste angenommen werden.⁴⁸

Auch die direkte Nutzung von *Biomethan* in Fahrzeugen mit Gasmotor ist daher aus Sicht der *Energieeffizienz* dem synthetischen Methan überlegen. Ein zusätzliches Hindernis für den Energieträger *Wasserstoff* ist die fehlende Infrastruktur: Während Elektrofahrzeuge mit dem vorhandenen Stromnetz und gasbetriebene Fahrzeuge mit dem vorhandenen Gasnetz bereits über grundlegende Lade- bzw. Tank- und Verteilstrukturen verfügen, müssten diese für *Wasserstoff* erst neu errichtet werden. Vorteil ist jedoch die hohe Energiedichte von *Wasserstoff*.⁴⁹

⁴⁸ AEE: Strom speichern. Renews Spezial 57, März 2012.

⁴⁹ Öko-Institut: Strombasierte Kraftstoffe im Vergleich. Stand heute und die Langfristperspektive. Working Paper, Freiburg/Darmstadt/Berlin, Oktober 2013.

Lkw-Verkehr



Steckbrief Energiewende im Lkw-Verkehr		Entwicklung und Herausforderungen
Bestand	2,6 Mio. Fahrzeuge	steigend
Verkehrsleistung	454 Mrd. tkm	stark steigend
Energieverbrauch	ca. 170 Mrd. kWh	stark steigend
Chancen für Erneuerbare Energien	Biodiesel (Beimischung, Reinkraftstoff)	Freigaben, Abgaswerte
	Biomethan	Markteinführung Gasmotor
	Plug-In Hybrid, Elektromobilität	Markteinführung der Fahrzeuge für innerstädtischen Lieferverkehr
	erneuerbarer Wasserstoff	Forschung und Entwicklung
	synthetisches Methan	Markteinführung Gasmotor, Forschung und Entwicklung
Bedeutung für Energiewende im Verkehr	ineffizientestes Güterverkehrsmittel mit sehr hohem Zuwachs	Verlagerung bzw. Kombiniertes Verkehr mit Schiene und Schiff, Effizienzsteigerung durch Hybridantriebe
	Biokraftstoffe mittelfristig einzige erneuerbare Energiequelle für Schwerlastverkehr	hohe systemische Hürden für andere Erneuerbare Energien

Bestand

Der Lkw-Bestand wächst stetig. Anfang 2013 waren 2,6 Millionen Lastkraftwagen in Deutschland registriert. Davon zählt mit 2 Mio. Lkw der Großteil zur Klasse der Fahrzeuge mit maximal 3,5 t zulässiger Gesamtmasse. Das Gros der Verkehrsleistung wird jedoch von den schweren Last- und Sattelzügen erbracht.

Rolle im Verkehrsmix

Was der Pkw im Personenverkehr, ist der Lkw im Güterverkehr: Der Straßengüterverkehr mit dem Lkw weist mit 454 Mrd. tkm im Jahr 2012 die mit Abstand höchste Verkehrsleistung auf (71 Prozent Anteil an der gesamten Verkehrsleistung des deutschen Güterverkehrs). In Deutschland erreichten 2012 insgesamt 77 Prozent aller beförderten Güter ihr Ziel per Lkw. Lkw werden vor allem im Güterfern- und -nahverkehr eingesetzt. Wurde 1960 noch die Hälfte der Verkehrsleistung im Güterverkehr über die Schiene abgewickelt und weniger als 30 Prozent mit dem Lkw, so hat sich der Straßengüterverkehr bis 2011 noch stärker vervielfacht als der Pkw-Verkehr. Die Verkehrsleistung des Lkw lag 2011 siebenmal so hoch wie noch 1960, während der Beitrag des Schienenverkehrs auf dem Niveau von 1960 stagniert.⁵⁰

Trend

Je stärker Wirtschaft und ökonomische Verflechtungen wachsen, desto mehr Güter müssen von einem Ort zum anderen transportiert werden. Wie im Personenverkehr stellt sich bei zunehmender Mobilitätsnachfrage die Herausforderung, effizienter zu transportieren. Ein energieeffizienter Güterverkehr würde das Wachstumstempo seiner Verkehrsleistung, d.h. die Zunahme der zurückgelegten *Tonnenkilometer*, vom Volumen des allgemeinen Wirtschaftswachstums entkoppeln. Das Gegenteil ist

⁵⁰ IfEU: TREMOD, Version 5.25. Heidelberg, September 2012.

Autobahnen für den Güterverkehr elektrifizieren?

Der Siemens-Konzern führt seit 2010 in dem vom Bundesumweltministerium geförderten Forschungsprojekt ENUBA gemeinsam mit der Technischen Universität Dresden Praxisversuche mit neu entwickelten Oberleitungs-Lkw durch. Mit dem an Oberleitungsbussen angelehnten System ist eine Elektrifizierung auch des Schwerverkehrs möglich, für den rein batterieelektrische Antriebe technisch nicht praktikabel sind. Auf einer Teststrecke sind bereits Hybrid-Lkw im Einsatz, die sowohl über einen Stromabnehmer für die Oberleitung, als auch über einen Dieselmotor verfügen. Ein problemloses Wechseln zwischen Strecken mit und ohne Oberleitung ist möglich. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) empfiehlt in seinem Jahresgutachten 2012 angesichts des weiteren Anstiegs des Güterverkehrs und des damit verbundenen fossilen Energieverbrauchs den Aufbau der Infrastruktur. Notwendig wäre ein völlig neues Netz von Oberleitungen entlang der Autobahnen. Aufgrund der hohen Investitionskosten von bis zu 2,5 Mio. Euro je Kilometer ist das Projekt umstritten. Der NeubaueinesAutobahnkilometers ist in Deutschland mit 4 bis 8 Mio. Euro zu veranschlagen.



„Trolley-Lkw“ auf einer Teststrecke mit elektrischer Oberleitung
Quelle: Siemens

jedoch im Straßengüterverkehr der Fall: Im Zeitraum von 1999 bis 2012 blieb die beförderte Gütermenge zwar weitgehend konstant. Die Verkehrsleistung der Lkw stieg jedoch um 33 Prozent, während das Wirtschaftswachstum (bezogen auf das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt) nur etwa halb so stark ausfiel. Dieser Effekt wird vor allem darauf zurückgeführt, dass in Deutschland Güter immer häufiger über immer längere Strecken mit dem Lkw bewegt werden. Betrug 1995 die durchschnittliche mittlere Transportweite eines Lkw-Weges 69 km, so wurden 2010 bereits 109 km zurückgelegt.

Der generelle Wachstumstrend im Gütertransport wird auch in den kommenden Jahren dafür sorgen, dass immer mehr Waren mit Lkws transportiert werden – falls sich die Rahmenbedingungen nicht deutlich ändern. Absehbar ist, dass der Lkw noch für längere Zeit die meistgenutzte Transportmöglichkeit im Güterverkehr bleiben wird. So erwartet die aus der Sicht des Jahres 2007 erstellte Verkehrsprognose des Bundesverkehrsministeriums bis 2025 einen Anstieg der Verkehrsleistung auf 704 Mrd. *tkm*, was eine weitere massive Zunahme um 55 Prozent gegenüber 2012 bedeuten würde. Aktuellere umfangreiche Modellierungen der Verkehrsnachfrage rechnen angesichts des geringeren Wirtschaftswachstums und des demographischen Wandels mit einem deutlich schwächeren Zuwachs. Nichtsdestotrotz soll auch unter der Annahme stärkerer Vermeidung und Verlagerung des Güterverkehrs bis 2030 laut „Renewability“-Szenario des Öko-Instituts eine Verkehrsleistung von rund 700 *tkm* erreicht werden.⁵¹

⁵¹ Öko-Institut/DLR/Fraunhofer ISI: Renewability II. Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Berlin/Darmstadt/Freiburg/Karlsruhe, November 2012.

Technik

Der Verbrennungsmotor dominiert nicht nur den Personen-, sondern auch den Gütertransport: Weit über 90 Prozent der Lkw werden mit Dieselmotoren angetrieben. Ottomotoren, Gas- und Flüssiggasantriebe sind technisch möglich, bisher aber nur Nischenanwendungen. Grundsätzlich kommen Hybridantriebe, für leichte Nutzfahrzeuge auch rein elektrische Antriebe in Frage. Diese sind bisher jedoch kaum verbreitet. Analog zum Konzept des Oberleitungsbusses wird in einem Forschungsprojekt ein mit Oberleitungen elektrifizierter Schwerlastverkehr erprobt.⁵²

Energieverbrauch

Der Lkw-Verkehr ist mit über 600 PJ nach dem Pkw-Verkehr der mit Abstand zweitgrößte Energieverbraucher. Lkw nutzen fast ausschließlich Diesel als Kraftstoff. Die im Durchschnitt geringe Auslastung verringert die *Energieeffizienz* des Lkw-Verkehrs. 38 Prozent aller Lkw-Fahrten waren 2011 Leerfahrten. Da nach dem Entladen des Fahrzeugs nicht gleich wieder neue Güter aufgenommen werden konnten, waren viele unbeladene Fahrzeuge unterwegs. Energetisch betrachtet, verliert der Lkw – trotz kontinuierlicher Effizienzsteigerungen – den Vergleich mit Schiene und Binnenschiff immer noch deutlich. Mit 0,38 kWh durchschnittlichem Energiebedarf pro geleisteten *Tonnenkilometer* wird 3,5-mal so viel Energie wie bei einem Güterzug bzw. dreimal so viel Energie wie bei einem Binnenschiff benötigt. Während im Schienengüterverkehr und in der Binnenschifffahrt der Energieverbrauch seit 1995 – bei einem schwächeren Anstieg der Verkehrsleistung – zurückgeht, steigt im Straßengüterverkehr der Energieverbrauch stark an. Der prozentuale Zuwachs wird nur vom Anstieg beim Luftverkehr übertroffen.

Politische Rahmenbedingungen

Aufgrund der hohen Umwelt-, Unfall- und Wegekosten (Ausgaben zur Erhaltung des Straßennetzes) wurde am 1. Januar 1995 die Lkw-Maut eingeführt (Eurovignette). Anfang 2005 wurde sie durch das elektronische Mautsystem Tollcollect ersetzt. Seitdem zahlen Lkw ab 12 Tonnen zulässiger Gesamtmasse in Deutschland eine Streckenbenutzungsgebühr für Autobahnen und einige Bundesstraßen. Damit sollen einerseits die Kosten für die Infrastrukturnutzung weitergegeben werden sowie andererseits Anreize für eine Verlagerung des Straßengüterverkehrs auf Schiene und Wasserstraßen gegeben werden. Trotz Lkw-Maut musste die öffentliche Hand 2005 mit zusätzlichen 12,8 Milliarden Euro für die externen Umwelt- und Unfallkosten sowie Wegekosten des Lkw-Verkehrs aufkommen.

Angesichts der beschriebenen Nachteile und Folgekosten des Lkw-Verkehrs fördert die Bundesregierung eine Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene und das Schiff. Der Aktionsplan Güterverkehr des Bundesverkehrsministeriums unterstützt die Reaktivierung von Gleisanschlüssen sowie die Errichtung von Umschlaganlagen an Wasserstraßen und im Schienengüterverkehr. Gleichzeitig wird die Straßeninfrastruktur jedoch auch für den prognostizierten starken Zuwachs des Straßengüterverkehrs ausgebaut.

Chancen für Erneuerbare Energien

Erneuerbarer Strom kann bei rein elektrischen Leichtnutzfahrzeugen z.B. im städtischen Lieferverkehr oder bei Lkw mit Hybridantrieben zum Einsatz kommen. Im Schwerlastverkehr ist eine breite Elektrifizierung aus technischen und infrastrukturellen Gründen aber mittelfristig nicht realistisch. Hier werden für lange Distanzen Kraftstoffe mit hoher Energiedichte benötigt, weshalb *Biodiesel* in diesem Segment eine besonders wichtige Rolle spielt. Zum fossilen Diesel werden in Deutschland seit 2011 üblicherweise 7 Volumenprozent *Biodiesel* beigemischt (B7-Kraftstoff). Im Jahr 2012 lag der

⁵² Siemens: Mit dem eHighway in die Zukunft. München, Mai 2012; Wallet, Norbert: Elektrifizierung – Illusion oder die Zukunft des Verkehrs? In: Stuttgarter Zeitung, 01. Juni 2012; Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Umweltgutachten 2012. Verantwortung in einer begrenzten Welt. Berlin, Juni 2012.

Anteil von *Biodiesel* am gesamten Dieselkraftstoffverbrauch in Deutschland bei 8 Prozent.⁵³ Grundsätzlich haben zahlreiche Lkw-Hersteller ihre Fahrzeuge für den Betrieb mit reinem *Biodiesel* (B100) oder B30 freigegeben.⁵⁴ Auch Traktoren, Schlepper und andere landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge können B100-Kraftstoff nutzen. Der Lkw-Verkehr war bis 2008 einer der Hauptabnehmer von B100-Kraftstoff, dessen Absatz jedoch infolge der rückläufigen Steuerbefreiung dann fast vollständig einbrach. Infolgedessen verzichteten Lkw-Hersteller auf die aufwändige technische Prüfung für die Freigabe ihrer Fahrzeuge für die Abgasnorm Euro 6. Diese gilt für alle 2014 neu zugelassenen Lkw. Weiterentwickelte Lkw-Motoren, die den schärferen Grenzwerten entsprechen wollen, haben meist keine Freigabe mehr für reinen *Biodiesel*. Einzelne Anbieter haben allerdings bereits Euro-6-kompatible Lkw auf den Markt gebracht, die sich auch mit B100 betanken lassen. Eine Alternative zu *Biodiesel* bietet *Biomethan*, bzw. *synthetisches Methan*. Schwerlast-Lkw mit Gasantrieb sind am Markt verfügbar.⁵⁵

Bedeutung für die Energiewende im Verkehr

Der Lkw-Verkehr ist nach dem Pkw-Verkehr der zweitwichtigste Energieverbraucher und für rund ein Viertel des gesamten mobilitätsbedingten Energieverbrauchs in Deutschland verantwortlich. Eine Energiewende im Verkehrssektor hängt damit stark von der Entwicklung im Straßengüterverkehr ab. *Biokraftstoffe* sind hier bereits breit eingeführt. Sie bieten ein ausbaufähiges Potenzial, insbesondere in Form von *Biomethan* für Lkw mit Gasmotor. Deren Markteinführung würde langfristig den Weg für *synthetisches Methan* bereiten. Zusammen mit erneuerbarem *Wasserstoff* bildet es dann frühestens nach 2030 eine notwendige Ergänzung für das begrenzte Potenzial der *Biokraftstoffe*.⁵⁶ Früher ist mit einer breiten Anwendung dieser Energieträger im Verkehrssektor angesichts der hohen Kosten und der infrastrukturellen Hürden nicht zu rechnen.

Im städtischen Lieferverkehr bietet sich aktuell bereits *Elektromobilität* mit erneuerbarem Strom als Alternative zum Dieselmotor an. Das größte Segment des Schwerlastverkehrs auf Langstrecken kann mit diesen Fahrzeugen aber nicht abgedeckt werden. Unverzichtbar erscheinen daher deutliche Verlagerungen der Verkehrsleistung auf Schiene und Schiff. Viele Transportleistungen könnten mit vertretbarem logistischem und ökonomischem Aufwand von diesen Verkehrsmitteln übernommen werden.

Modellierungen des zukünftigen Güterverkehrs zeigen, dass auch ambitionierte Verlagerungs- und Vermeidungsstrategien den massiven Anstieg des Güterverkehrsaufkommens nur abschwächen können. Umso wichtiger werden Effizienzsteigerungen durch sparsamere Motoren, eine Hybridisierung der Antriebe und weniger Leerfahrten. Lässt sich die Transportnachfrage nicht deutlicher senken, könnten bei einer volkswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Abwägung langfristig auch Optionen wie die elektrischen Oberleitungs-Lkw attraktiv werden.

⁵³ Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Mineralölstatistik 2012. Wiesbaden, April 2013.

⁵⁴ Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP): Freigaben der Nutzfahrzeughersteller für den Betrieb mit Biodiesel (B100). Berlin, Juni 2010.

⁵⁵ Scania: Scania behält Führungsposition bei alternativen Kraftstoffen. Pressemitteilung, 24. Oktober 2013.

⁵⁶ UBA: Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau-Roßlau, Oktober 2013.

Schienenverkehr



Steckbrief Energiewende im Schienenverkehr		Entwicklung und Herausforderungen
Bestand	15.500 Lokomotiven/ Triebwagen 17.800 Personenwaggons 107.000 Güterwaggons 37.800 km Schienennetz	leicht sinkend
Verkehrsleistung	88,5 Mrd. Pkm 110 Mrd. tkm	steigend
Energieverbrauch	21 Mrd. kWh	Strom: stagnierend Diesel: sinkend
Chancen für Erneuerbare Energien	Elektromobilität (elektrifizierte Strecken)	Steigerung des Anteils Erneuerbarer Energien am Stromverbrauch, Ausbau der Streckenelektrifizierung
	Biodiesel (nicht elektrifizierte Strecken)	
Bedeutung für Energiewende im Verkehr	energieeffizienter Güter- und Personenverkehr mit leicht und schnell zu steigendem Anteil Erneuerbarer Energien	Optimierung des Angebots, Verlagerung des Pkw- und Lkw-Verkehrs zum Schienenverkehr, Nutzung des Bahnstromnetzes

Bestand

In Deutschland gab es 2011 insgesamt circa 15.500 einsatzbereite Lokomotiven und Triebwagen. Im Schienenpersonenverkehr standen 17.800 Personenwaggons sowie im Schienengüterverkehr 107.000 Güterwaggons bereit.⁵⁷ Das öffentliche Eisenbahnnetz hatte 2011 eine Länge von 37.800 km (ohne Straßen- und U-Bahnen).

Rolle im Verkehrsmix

Der Verkehrsträger Schiene ist für den Personen- und Gütertransport geeignet. Der Schienenpersonenverkehr erbrachte mit 88,5 Mrd. Pkm im Jahr 2012 insgesamt rund 7 Prozent der Verkehrsleistung des Personenverkehrs. Davon entfallen 51,2 Mrd. Pkm auf den Nah- und 37,3 Mrd. Pkm auf den Fernverkehr. Der Schienenpersonennahverkehr umfasst den Personentransport im Regionalverkehr. Für dessen Steuerung sind die Bundesländer und kommunalen Zweckverbände zuständig. Alle Reiseverbindungen über 50 km Entfernung und mit über einer Stunde Reisedauer zählen als Schienenpersonenfernverkehr, der von der Deutschen Bahn AG dominiert wird. Während Reisende im Nahverkehr durchschnittlich 21 km mit einer Zugfahrt zurücklegen, sind es im Fernverkehr 284 km.⁵⁸

Der Schienengüterverkehr hat seine zentrale Rolle nach dem Zweiten Weltkrieg zugunsten des Lkw eingebüßt. Mit einer Verkehrsleistung von 110 Mrd. tkm im Jahr 2012 verharrt er auf dem Niveau von 1960 und bei einem Anteil im Gütertransport von 17 Prozent. Im Schienengüterverkehr übernimmt die Bahn vor allem den Transport fossiler Energieträger: Bergbauerzeugnisse und Mineralölprodukte machten 2012 mehr als ein Viertel der Verkehrsleistung aus.

⁵⁷ Europäische Kommission: EU transport in figures. Statistical pocketbook 2013. Luxemburg, September 2013.

⁵⁸ Statistisches Bundesamt: Verkehr aktuell. Fachserie 8, Reihe 1.1. Wiesbaden, November 2013.

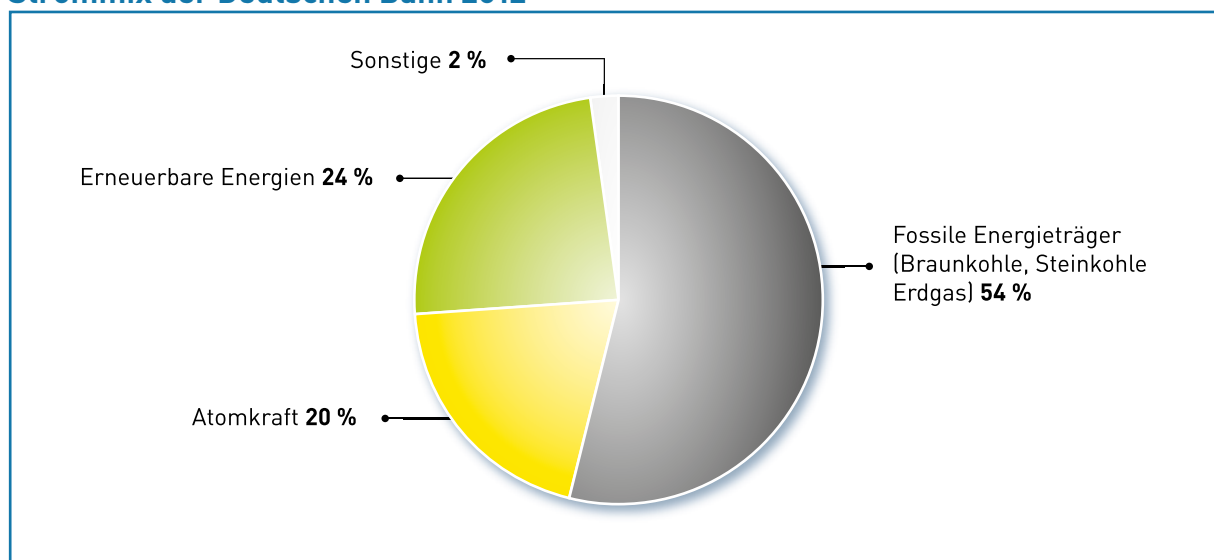
Trend

Im Personen- und Güterverkehr hat die Bedeutung der Schiene nach dem Zweiten Weltkrieg stetig abgenommen. Der Rückgang des Schienenverkehrs spiegelt sich auch in den Streckenstilllegungen: Standen nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs in Deutschland (BRD und DDR) noch 49.300 km Schienennetz zur Verfügung, sank die Streckenlänge bis 1976 auf 43.200 km, um bis 2011 nur noch 37.800 km zu erreichen. Erst nach 1990 konnten – trotz anhaltender Streckenstilllegung – wieder Zuwachsraten erreicht werden, sowohl hinsichtlich der Verkehrsleistung als auch anteilmäßig im Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln. Im Personenverkehr stieg die Verkehrsleistung zwischen 2004 und 2012 um 15,3 Prozent, dabei besonders stark im Nahverkehr. Der Schienengüterverkehr konnte seit 1991 um mehr als ein Drittel zulegen. Auch die Länge der Schienengüterverkehrswege nahm deutlich zu. Wurden Güter mit der Bahn 1999 noch durchschnittlich über eine Entfernung von 255 km befördert, so stieg die Durchschnittsstrecke auf 302 km. Die Zuwachsraten liegen dennoch unter den Zuwächsen, die beim Lkw-Verkehr erzielt werden.

Die Verkehrsprognose 2025 des Bundesverkehrsministeriums aus dem Jahr 2007 erwartete einen Zuwachs des Schienenpersonenverkehrs auf 91,2 Mrd. *Pkm*, was einen Anstieg um ein Viertel gegenüber 2004 bedeutet. Der Schienengüterverkehr soll auf 151,9 Mrd. *tkm* steigen, was einem Plus um zwei Drittel gegenüber 2004 bzw. plus 28 Prozent gegenüber 2012 entspricht. Damit würde der Zuwachs im Vergleich zum Lkw-Verkehr nur halb so stark ausfallen. Das „Renewbility“-Szenario des Öko-Instituts erwartet angesichts der Wirtschaftskrise ein etwas geringeres Wachstum auf 158 Mrd. *tkm* Verkehrsleistung bis 2030. Unter der Annahme, dass ambitionierte Maßnahmen zur Verlagerung auf die Schiene umgesetzt werden, hält „Renewbility“ eine Verkehrsleistung von maximal 225 Mrd. *tkm* bis 2030 für möglich.⁵⁹

Selbst unter diesen optimistischen Annahmen würde die Zuwachsrate jedoch noch leicht unter dem Wachstum des Lkw-Verkehrs liegen.

Strommix der Deutschen Bahn 2012



Quelle: Deutsche Bahn, Stand: 9/2013

⁵⁹ Öko-Institut/DLR/Fraunhofer ISI: Renewbility II. Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Berlin/Darmstadt/Freiburg/Karlsruhe, November 2012.

Technik

Im Schienenverkehr werden Elektro- und Dieselmotoren eingesetzt. In der Bundesrepublik und in der DDR wurden größere Teile des Streckennetzes in den 1960er und 1970er Jahren schrittweise elektrifiziert und die bis dahin dominierenden Dampflokomotiven durch Elektro- oder Dieselloks ersetzt. Der Elektrifizierungsgrad ist in Deutschland im europäischen Vergleich hoch. Zwar sind 2011 insgesamt 41 Prozent des Streckennetzes nicht elektrifiziert (EU-27: 47 Prozent), doch wurden 92 Prozent der Betriebsleistung aller Lokomotiven durch elektrischen Antrieb erbracht. Nur 8 Prozent der Betriebsleistung erfolgte durch Dieselloks. Der Schienenverkehr ist damit der klassische Bereich der *Elektromobilität*. Parallel zum deutschen Stromnetz versorgt ein 7.800 km langes unabhängiges Bahnstromnetz die Elektroloks mit Strom.

Energieverbrauch

Der Endenergieverbrauch des Schienenverkehrs belief sich 2011 auf 21 Mrd. kWh, was nur 2,9 Prozent des gesamten Energieverbrauchs des deutschen Verkehrs ausmacht. Dabei ist der Schienenverkehr mit 16,6 Mrd. kWh der größte Stromverbraucher in Deutschland. Der Energiebedarf des Schienenverkehrs wird zu 79 Prozent durch Strom gedeckt. Der restliche Energiebedarf (21 Prozent) wird von fossilem Dieselmotorkraftstoff und *Biodiesel* gedeckt, die in Dieselloks zum Einsatz kommen.⁶⁰

Technisch bedingt haben Eisenbahnen im Vergleich mit anderen Verkehrsträgern einen relativ niedrigen Energieverbrauch, bezogen auf die Einheit eines zurückgelegten Personen- bzw. *Tonnenkilometers*. So benötigt ein Pkw bei der Personenbeförderung je zurückgelegten *Personenkilometer* doppelt so viel Energie wie ein durchschnittlich ausgelasteter Personenzug. Ein Lkw verbraucht 3,5-mal mehr Energie beim Gütertransport je zurückgelegten *Tonnenkilometer* als ein Güterzug. Die Auslastung der Personenzüge ist von 40 Prozent im Jahr 2000 auf 47 Prozent im Jahr 2011 gestiegen, bei Güterzügen im selben Zeitraum von 40 Prozent auf 54 Prozent.

Neben dem elektrischen Antrieb per Oberleitung und dem Dieselmotor gibt es bisher praktisch keine in die breite Anwendung gebrachten Alternativen. Hybridantriebe und mit *Wasserstoff* betriebene Lokomotiven sind noch im Forschungs- und Entwicklungsbereich anzusiedeln. Weitere Effizienzsteigerungen können durch die Rückgewinnung von Bremsenergie erzielt werden und durch eine Verringerung des Fahrwiderstands.

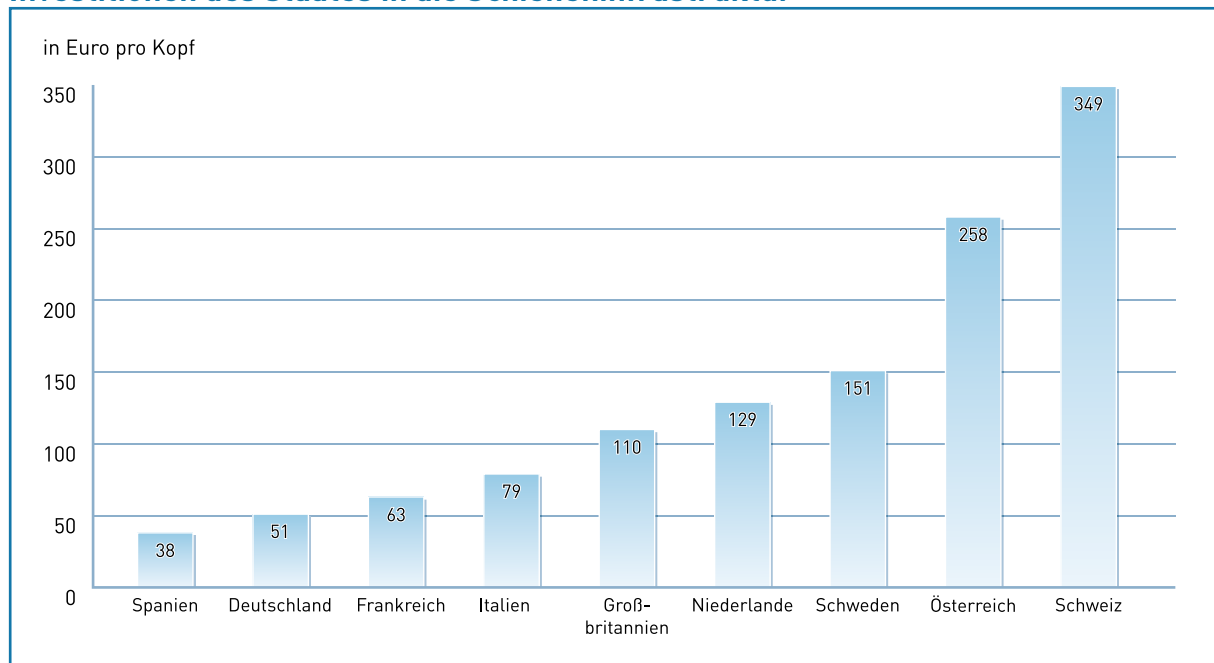
⁶⁰ AG Energiebilanzen: Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2011, April 2013.

Politische Rahmenbedingungen

Das Umweltbundesamt hat politische Szenarien entwickeln lassen, um zu überprüfen, inwieweit Deutschland die bis 2030 notwendigen Klimaschutzziele erreichen kann. Im angenommenen Maßnahmenpaket für den Verkehrssektor wird eine deutliche Zunahme des Schienenverkehrs angestrebt, um den klimaschädlichen und energieintensiven Straßenverkehr zu reduzieren. Ein attraktiverer öffentlicher (Schienen-)Personennahverkehr könnte den Energiebedarf des Verkehrssektors bis 2020 um insgesamt 14,4 Mrd. kWh reduzieren (-2,5 Prozent des Energieverbrauchs des Pkw-Verkehrs). Angenommen wird, dass ein transparenteres und integriertes Preissystem, ein bundesweiter integraler Taktfahrplan, verkürzte Fahrzeiten durch z.B. Sprinterzüge auf längeren Strecken und ein ausgeweitetes Angebot die Kosten und Fahrzeiten um je rund 20 Prozent reduzieren könnten. Auch eine weitere Elektrifizierung jener Strecken, die bisher nur mit Dieselloks befahren werden können, wird vorgeschlagen.⁶¹

Grundlage für die prognostizierte Zunahme des Schienenverkehrs ist, dass das Schienennetz nicht weiter reduziert, sondern ausgebaut und modernisiert wird. Im europäischen Vergleich liegen die deutschen Investitionen in die Schieneninfrastruktur sehr niedrig. Bedeutende Schieneninfrastrukturprojekte legt die Bundesregierung über den Bundesverkehrswegeplan fest, der zuletzt 2003 erstellt wurde. Für 2015 ist eine Überarbeitung vorgesehen. Zwar sind auch Projekte der Schieneninfrastruktur priorisiert, doch geht der tatsächliche Ausbau bei schwächerer finanzieller Ausstattung im Vergleich zum Straßenbau noch langsam voran.⁶²

Investitionen des Staates in die Schieneninfrastruktur



Quelle: Allianz pro Schiene, Stand: 12/2013

⁶¹ Öko-Institut/Forschungszentrum Jülich/Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)/Fraunhofer ISI: Politiksszenarien für den Klimaschutz VI. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Freiburg/Dessau-Roßlau, März 2013.

⁶² Heinrici, Timon: Priorisieren und bündeln. In: Deutsche Verkehrszeitung, 27. Oktober 2011.

Ein Ausbau des Schienennetzes könnte im Schienengüterverkehr Engpässe in der Rhein-Schiene und bei der Hinterlandanbindung der Nordseehäfen beheben. Dadurch ließe sich laut UBA-Politiksszenarien die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem Lkw-Verkehr verbessern. Vor diesem Hintergrund sieht der Aktionsplan Güterverkehr und Logistik des Bundesverkehrsministeriums vom November 2010 bereits mehrere Maßnahmen zur Optimierung des Schienengüterverkehrs vor, wenn auch aus Sicht von Kritikern keine Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene angereizt wird.⁶³ Das Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung aus dem Jahr 2002, bis 2015 ein Viertel der Verkehrsleistung im Güterverkehr auf die Schiene zu verlagern, erscheint bei einem Anteil von 17 Prozent im Jahr 2012 angesichts niedriger Zuwachsraten nicht mehr erreichbar zu sein.

Notwendig wäre eine verstärkte Förderung des Kombinierten Verkehrs, d.h. die bessere Verknüpfung des Lkw-Verkehrs mit dem Schienengüterverkehrs und der Binnenschifffahrt. Ziel ist ein vereinfachtes und möglichst umfangreiches Umladen der Frachtgüter zwischen den Verkehrsmitteln, so dass der Lkw-Verkehr weniger Ferntransporte übernimmt.⁶⁴

Chancen für Erneuerbare Energien

Der elektrifizierte Schienenverkehr nutzt bereits die steigenden Anteile Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung. Für eine effiziente Nutzung Erneuerbarer Energien sind Elektroloks und -Triebwagen prädestiniert. Mit dem Zubau von Erneuerbare-Energien-Anlagen lassen sich fossile Energieträger im Verkehrssektor ohne zusätzlichen technischen Aufwand ersetzen. Ebenso ist eine bilanzielle Vollversorgung von Bahnunternehmen mit erneuerbarem Strom möglich.

Auf nicht elektrifizierten Strecken wird *Biodiesel* anteilig über die Beimischung zu fossilem Diesel (B7-Kraftstoff) genutzt. Auch ein ausschließlicher Betrieb mit reinem *Biodiesel* (B100) ist möglich, seit Abbau der Steuerbefreiungen nach 2008 jedoch teurer als fossiler Diesel. Die Diesel- bzw. *Biodiesel*nachfrage ließe sich jedoch durch eine weitere Elektrifizierung der Strecken reduzieren.

Bedeutung für die Energiewende im Verkehr

Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung bezeichnet den Schienenverkehr als Hauptakteur der Energiewende im Verkehrssektor. Der Schienenverkehr mit elektrischem Antrieb bietet Möglichkeiten, schnell unabhängiger vom Erdöl zu werden, da große Teile des Pkw- und Lkw-Verkehrs auf die Schiene verlagert werden können. Allerdings sind dem Grenzen gesetzt:

- Im Güterverkehr lassen sich kleinere Frachtgutmenen meist nicht bedarfsgerecht per Bahn transportieren. Außerdem sind Güterzüge auf vielen Wegen räumlich und zeitlich weniger flexibel als der Lkw-Verkehr. In Sachen Energieeffizienz liegt die Bahn im Vergleich der Verkehrsmittel vorn und birgt dennoch weiteres Steigerungspotenzial.
- Im Personenverkehr bleibt der Pkw häufig erste Wahl, weil das Angebot des Schienenpersonenverkehrs und die Taktfrequenz nicht den individuellen Mobilitätsbedürfnissen entsprechen, die Bahnhöfe beispielsweise im ländlichen Raum zu weit entfernt liegen sowie Pünktlichkeit und Servicequalität bemängelt werden.⁶⁵

⁶³ Ramsauer legt Aktionsplan Güterverkehr und Logistik vor. In: Verkehrsrundschau, 22. Oktober 2010;

<http://www.verkehrsrundschau.de/ramsauer-legt-aktionsplan-gueterverkehr-und-logistik-vor-988269.html>.

⁶⁴ Öko-Institut/Forschungszentrum Jülich/DIW/Fraunhofer ISI: Politiksszenarien für den Klimaschutz VI. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Freiburg/Dessau-Roßlau, März 2013.

⁶⁵ Verkehrsclub Deutschland (VCD): VCD-Bahntest 2011. Berlin, November 2011.

Da der Schienenverkehr als einziges Verkehrsmittel erneuerbaren Strom nutzt und über eine gute Umweltbilanz verfügt, sieht das EEG explizit eine weitgehende Befreiung des Schienenverkehrs von der EEG-Umlage vor. Ökologisch kontraproduktive Wettbewerbsverzerrungen gegenüber anderen Verkehrsmitteln sollen damit verhindert werden. Mit zunehmendem Ausbau der wetterabhängigen Wind- und Solarstromerzeugung wird ein überregionaler Ausgleich von erneuerbarem Strom(über)angebot einerseits und Stromnachfrage andererseits immer wichtiger. Der Ausbau der Stromübertragungs- und -verteilnetze gehört daher zu den wichtigsten Aufgaben der Energiewende im Stromsektor. Das Bahnstromnetz könnte in diesem Zusammenhang zusätzliche Kapazitäten für die Stromübertragung bereitstellen, sei es durch Nutzung der bestehenden Netzinfrastruktur, sei es durch Zubau von Übertragungskapazitäten auf den Trassen des Bahnstromnetzes. Ein von der Bundesnetzagentur in Auftrag gegebenes Gutachten hat diese Option überprüft und hält die Einbindung des Bahnstromnetzes für den überregionalen Stromtransport trotz unterschiedlicher Frequenzhöhen technisch und rechtlich für machbar. Allerdings ergeben sich durch die unterschiedlichen Nutzungsanforderungen von Elektroloks und (erneuerbarer) Stromverteilung Konflikte, die voraussichtlich nur mit hohen Investitionen in die Infrastruktur überwunden werden können.⁶⁶ Rückspeisefähige Elektroloks könnten Strom bedarfsgerecht in das Netz zurückspeisen, weshalb die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung die Anschaffung technisch geeigneter Schienenfahrzeuge empfiehlt.

Luftverkehr



Steckbrief Energiewende im Luftverkehr		Entwicklung und Herausforderungen
Bestand	21.500 Luftfahrzeuge, davon 648 Passagierflugzeuge	steigend
Verkehrsleistung	55 Mrd. Pkm 1,4 Mrd. tkm	stark steigend
Energieverbrauch	31 Mrd. kWh	steigend
Chancen für Erneuerbare Energien	Biokerosin (Beimischung hydrierter Pflanzenöle)	Bereitstellung ausreichender Mengen nachhaltigen Biokerosins
	synthetisches Kerosin (Verflüssigung von biogenem Synthesegas oder Verflüssigung von synthetischem Methan)	Forschung und Entwicklung
Bedeutung für Energiewende im Verkehr	ineffizientes Verkehrsmittel mit sehr hohem Zuwachs	Verkehrsvermeidung, Verlagerung von Kurzstreckenflügen auf den Schienenverkehr
	Biokraftstoffe sind mittelfristig die einzige erneuerbare Energiequelle; wegen hoher systemischer Hürden für andere erneuerbare Energieträger haben sie eine sehr hohe Wertigkeit für den Luftverkehr	Effizienzsteigerung bei Flugzeugantrieben, langfristig Markteinführung ausreichender Mengen von synthetischem Kerosin

⁶⁶ Universität Hannover/Technische Universität Dresden/Technische Universität Clausthal: Machbarkeitsstudie zur Verknüpfung von Bahn- und Energieleitungsinfrastrukturen. Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse und Empfehlungen der Gutachter. Hannover/Dresden/Clausthal, Juni 2012.

Bestand

Beim Luftfahrtbundesamt waren 2012 insgesamt 21.500 Luftfahrzeuge zugelassen, darunter 7.800 Segelflugzeuge, 1.200 Ballone und 6.800 einmotorige Kleinflugzeuge.⁶⁷ Die Zahl der Passagierflugzeuge für den Personentransport belief sich auf 648, wovon vier Fünftel Flugzeuge der mittleren Größenklasse mit 50 bis 150 Sitzplätzen waren. Hinzu kommen 91 Fracht- und Spezialflugzeuge für den Güterverkehr.

Rolle im Verkehrsmix

Im interkontinentalen Personenfernverkehr ist das Flugzeug praktisch ohne Alternative. Die Verkehrsleistung belief sich 2011 auf 55 Mrd. *Pkm* (ca. 5 Prozent des Personenverkehrs, nur Fluglinienverkehr, ohne geringeren Beitrag der Gelegenheitsflüge). Dabei ist nur die Entfernung des Flugs bis zur deutschen Grenze eingerechnet. Nur 0,2 Prozent der gesamten Verkehrsleistung des Güterverkehrs (1,4 Mrd. *tkm*) wurde 2012 in Deutschland mit dem Flugzeug abgewickelt.

Internationaler Flugverkehr legt immer weitere Distanzen zurück

Die Angaben zur Verkehrsleistung des Flugverkehrs erfassen die zurückgelegten Distanzen nach dem Territorialprinzip, d.h. beziehen sich auf die rechnerische Verkehrsleistung bis zur deutschen Landesgrenze. Werden die zurückgelegten Distanzen internationaler Flüge vollständig bis zur Landung bzw. bis zum ersten Zwischenstopp im Ausland berücksichtigt (so genanntes Standortprinzip), beläuft sich die Verkehrsleistung 2010 auf 203 Mrd. *Pkm*. Bis 2030 ist ein Anstieg um mehr als 100 Prozent zu erwarten. Der Güterverkehr würde von 9 Mrd. *tkm* 2010 bis 2030 auf 20 Mrd. *tkm* steigen. Hier spiegelt sich neben dem beschriebenen starken Zuwachs der beförderten Personenzahl und Gütermenge wider, dass die mit dem Flugzeug zurückgelegten Entfernungen immer größer werden. Die Bedeutung innerdeutscher Flüge nimmt unterdessen weiter ab.⁶⁹

Im Jahr 2012 stiegen je 100 Mio. Fluggäste an den 27 deutschen Hauptverkehrsflughäfen mit mehr als 150.000 Passagieren jährlich ein bzw. aus. Hinsichtlich des Fluggastaufkommens liegt das Drehkreuz Frankfurt am Main als drittgrößter Flughafen der EU weit vorne, gefolgt vom Münchner Flughafen und Berlin mit den beiden Flughäfen Tegel und Schönefeld. Im Güterverkehr weisen Frankfurt am Main und Leipzig das mit Abstand größte Frachtvolumen auf. Flugzeuge transportieren vor allem sehr wertvolle, leicht verderbliche oder unter Zeitdruck stehende Güter. Zwar ist der Anteil am Güterverkehr gering, doch machte die Luftfracht rund 40 Prozent des Gesamtwerts des deutschen Güterverkehrsaufkommens aus.⁶⁸

Trend

Der Luftverkehr ist das proportional am stärksten wachsende Verkehrsegment. Im Personenverkehr hat sich die Verkehrsleistung des Luftverkehrs seit 1995 verdoppelt. Die Verkehrsleistung im Güterverkehr hat sich seit

1995 – auf anteilmäßig niedrigem Niveau – verdreifacht. Einen vorübergehenden Einbruch gab es nur infolge der Anschläge vom 11. September 2001.

⁶⁷ Luftfahrt-Bundesamt (LBA): Bestand an Luftfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland, 08. Januar 2013; http://www.lba.de/DE/Oeffentlichkeitsarbeit/Statistiken/Statistik_Luftfahrzeuge.html?nn=23054.

⁶⁸ BMVBS: Flughafenkonzept der Bundesregierung 2009. Berlin, Juni 2010.

⁶⁹ Öko-Institut/Forschungszentrum Jülich/DIW/Fraunhofer ISI: Politiksszenarien für den Klimaschutz VI. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Freiburg/Dessau-Roßlau, März 2013

In der 2007 erstellten Verkehrsprognose des BMVBS wird ein Anstieg der Verkehrsleistung im Personenverkehr auf 103 Mrd. *Pkm* bis 2025 erwartet, womit es zu einer weiteren Verdoppelung gegenüber dem Stand des Jahres 2011 kommen würde. Ähnlich hohe Zuwachsraten werden für den Güterverkehr angesetzt. Auch aktualisierte Flugverkehrsprognosen, die ein geringeres Wirtschaftswachstum annehmen, erwarten ebenso hohe Steigerungen bis 2030.⁷⁰

Technik

Konventionelle Großraumflugzeuge für den Luftfernverkehr sind auf Energieträger mit einer hohen Energiedichte angewiesen. Ein elektrischer Antrieb ist daher bisher auf kleinere Segel- und Solarflugzeuge sowie Luftschiffe beschränkt. Die Nutzung von Batterien, deren Energiedichte niedriger ist als die flüssigen Treibstoffe, ist voraussichtlich ausgeschlossen. Flugzeugtriebwerke werden üblicherweise mit Motoren betrieben, die den fossilen Kraftstoff Kerosin einsetzen. Auch kann Flugbenzin in Ottomotoren zum Einsatz kommen.

Energieverbrauch

Parallel zum rasanten Zuwachs der Verkehrsleistung des Luftverkehrs ist dessen Energieverbrauch angestiegen. Von 1995 bis 2010 hat sich der Energieverbrauch, vor allem von Kerosin, von 64 PJ auf 110 PJ fast verdoppelt. Werden die aus Deutschland abgehenden Flüge nach dem Standortprinzip vollständig erfasst, lag der Energieverbrauch 2011 bei 347 PJ, was einer Steigerung um mehr als die Hälfte gegenüber 1990 entspricht. Die Betankung der von deutschen Flughäfen startenden Flugzeuge machte damit rund 14 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs des Verkehrssektors in Deutschland aus.

Weiterentwicklungen der Flugzeugkomponenten und sparsamere Antriebe haben deutliche Effizienzsteigerungen bewirkt. Von 1990 bis 2011 konnte der spezifische Energieverbrauch je *Personenkilometer* um 37 Prozent reduziert werden. Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung hält einen jährlichen Rückgang des spezifischen Energieverbrauchs um ein bis zwei Prozent für realistisch. Zwischen 2008 und 2011 ging der Energieverbrauch des Flugverkehrs bereits um 9 Prozent zurück, worin sich der vermehrte Einsatz energetisch optimierter Flugzeuge widerspiegelt.⁷¹

Dennoch liegt der spezifische Energieverbrauch des Luftverkehrs weiterhin mit dem Pkw-Verkehr an der Spitze der Verkehrsmittel. Hinsichtlich der Treibhausgasbilanz ist der Flugverkehr das mit Abstand klimaschädlichste Verkehrsmittel. Pro *Personenkilometer* stößt ein Flugzeug 1,4-mal mehr Treibhausgase aus als ein Pkw, pro *Tonnenkilometer* sogar fast 16-mal mehr als ein Lkw.

Politische Rahmenbedingungen

Der Luftverkehr profitiert neben der Binnenschifffahrt als einziges Verkehrssegment von einer vollständigen Steuerbefreiung seines Brennstoffverbrauchs. Zum teilweisen Ausgleich dieses Wettbewerbsvorteils und zur Gegenfinanzierung von Infrastrukturmaßnahmen gilt seit Januar 2011 eine Luftverkehrssteuer, die auf alle in Deutschland startenden gewerblichen Passagierflüge erhoben wird. Je nach Entfernung ist ein bestimmter Betrag auf den Flugticketpreis aufzuschlagen.

⁷⁰ Öko-Institut/Forschungszentrum Jülich/DIW/Fraunhofer ISI: Politikszenerarien für den Klimaschutz VI. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Freiburg/Dessau-Roßlau, März 2013.

⁷¹ IfEU: Aktualisierung Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030. TREMOD, Version 5.3. Heidelberg, September 2012.

Die EU-Kommission plant, die Treibhausgasemissionen des europäischen Luftverkehrs vom Referenzjahr 2000 bis 2050 um 75 Prozent zu senken.⁷² Im Rahmen der europäischen Klimaschutzziele ist der Luftverkehr in der EU bereits seit 2012 Teil des europäischen *Emissionshandelssystems*. Fluggesellschaften müssen – analog zu emittierenden Industriebetrieben und Kraftwerksbetreibern – für ihre Treibhausgasemissionen Emissionszertifikate erwerben. Diese Mengenbegrenzung und die Kosten der Verschmutzungsrechte sollen einen Anreiz dazu geben, Emissionen zu reduzieren, beispielsweise durch den Einsatz effizienterer Flugzeuge. Die Preise der Verschmutzungsrechte spiegeln einen Teil der externen Kosten wie Umwelt- und Gesundheitsschäden wider. Die bisher von der Allgemeinheit getragenen gesellschaftlichen Mehrkosten können damit an die verursachenden Flugreisenden weitergegeben werden. Die Belastung des Luftverkehrs durch *Emissionshandel* und Luftverkehrssteuer ist allerdings gedeckelt. Die Aufwendungen der Luftfahrtunternehmen in Deutschland werden für beide Instrumente pauschal auf 1 Mrd. Euro begrenzt.⁷³

Die Mitglieder des Dachverbands der Luftfahrtbranche IATA haben sich freiwillige Klimaschutzziele gesetzt:

- ab 2020 Wachstum des Luftverkehrs nur noch ohne Anstieg der CO₂-Emissionen und
- bis 2050 Halbierung der CO₂-Emissionen des Luftverkehrs gegenüber 2005.

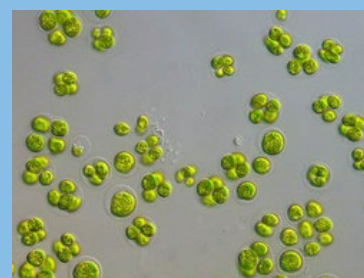
Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung stellt jedoch fest, dass diese Ziele nicht gesichert seien und Instrumente zum Erreichen dieser Ziele nicht greifbar seien.

Chancen für Erneuerbare Energien

Der Luftverkehr benötigt Kraftstoffe mit hoher Energiedichte und hat hohe Qualitätsansprüche hinsichtlich der physikalischen Kraftstoffeigenschaften. Daher kommt kurz- und mittelfristig nur der *Biokraftstoff* Biokerosin als erneuerbarer Energieträger für Flugzeuge in Frage. *Bioethanol* ist wegen seiner spezifischen Kraftstoffeigenschaften nicht für die Nutzung in großen Flughöhen geeignet. *Biokraftstoffe* werden international und von deutschen Fluggesellschaften in einer steigenden Zahl von Projekten für den Linienflugbetrieb erprobt. Die Internationale Luftfahrtorganisation ICAO schätzt, dass es 2013 bereits bis zu 1.500 kommerzielle Flüge mit Biokerosin gab.⁷⁴ Die Lufthansa testete im Rahmen eines durch das Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projektes als erste deutsche Fluggesellschaft

Projekt „Aufwind“ erforscht die Möglichkeiten von Biokerosin aus Algen

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) unterstützt im Projekt „Aufwind“ die Erforschung von Biokerosin aus Algen. Algen stellen eine möglicherweise attraktive Alternative zum Energiepflanzenanbau dar. Die standardisierte Produktion soll zukünftig einheitliche Qualitätsmerkmale garantieren – eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz im Flugverkehr. Außerdem benötigt die Algenproduktion nur verhältnismäßig geringe Flächen. Das für das Algenwachstum benötigte CO₂ kann direkt aus der Luft oder aus industriellen Prozessen wie dem Rauchgas von fossilen Kraftwerken genommen werden. Per Photosynthese wird es dann in Öl (Lipide) umgewandelt.



Mikroalgen wandeln Sonnenlicht in chemische Energie um.
Quelle: IGV Biotech/IGV GmbH/FNR

⁷² Europäische Kommission: Flightpath 2050. Europe's Vision for Aviation. Report of the High-Level Group on Aviation Research. Luxemburg, April 2011.

⁷³ VCD: Luftverkehrssteuer – ein Schritt in die richtige Richtung, 16. Dezember 2013, <http://www.vcd.org/luftverkehrssteuer.html>.

⁷⁴ Hupe, Jane: Driving progress through action on aviation and the environment. In: ICAO Journal, Vol. 68, No. 2, März 2013.

zwischen April 2011 und Januar 2012 den regulären Einsatz von Biokerosin in knapp 1.200 inner-deutschen Linienflügen sowie auf einem Transatlantik-Flug. Dabei wurde eines der beiden Flugzeugtriebwerke zur Hälfte mit Biokerosin auf Basis von hydrierten Pflanzenölen (Rapsöl, Jatrophaöl und Altfett) betrieben. Es waren keinerlei Anpassungen an den Flugzeugtriebwerken erforderlich. Das Biokerosin ließ sich technisch problemlos im Regelbetrieb verbrennen.⁷⁵

Die hohen technischen Standards und der Bedarf großer, global verfügbarer Kraftstoffmengen in gleichbleibender Qualität erschweren den Marktzugang von *Biokraftstoffen* im Flugverkehr, verglichen mit anderen Sektoren wie dem Lkw-Verkehr oder landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen. Allerdings kann dank der zentralen Auftankstationen der Luftverkehr logistisch auch schnell mit Biokerosin durchdrungen werden. Bei einer Belieferung der größten 190 Flughäfen weltweit könnten bereits 80 Prozent des globalen Flugverkehrs versorgt werden.⁷⁶

Erfolgversprechend ist der Einsatz von hydrierten Pflanzenölen (HVO), das aus Ölpflanzen hergestellt wird und dessen Eigenschaften mit fossilem Dieselkraftstoff annähernd identisch sind. Das Deutsche Biomasseforschungszentrum untersucht die Potenziale und Produktionspfade für Kerosin, das aus Holz gewonnen wird. Nach einer thermischen Vergasung des Holzes mit anschließender Fischer-Tropsch-Synthese kann ein synthetisches Kerosin auf Basis von Biomasse produziert werden. Technisch möglich ist auch eine Umwandlung Strom bzw. *Wasserstoff* aus Erneuerbaren Energien zu Kerosin, indem *synthetisches Methangas* verflüssigt wird.

Im Gegensatz zum Herstellungsverfahren von hydriertem Pflanzenöl als Biokerosin sind diese Produktionswege jedoch nicht kurzfristig verfügbar, sondern nur mittelfristig in größerem Umfang zu erwarten. Für die Forschung bestehen noch große Herausforderungen, sowohl was die Beschaffung und Umwandlung der Biomasse angeht, als auch die Abstimmung der Logistik und Kraftstoffnutzung in den Flugzeugantrieben. Die aufwändigen Konversionsschritte führen dabei zu relativ großen Wirkungsgradverlusten. Auf absehbare Zeit ist daher keine Wettbewerbsfähigkeit mit fossilem Kerosin zu erwarten.⁷⁷

Bedeutung für die Energiewende im Verkehr

Einzig kurzfristig verfügbare Alternative zu fossilen Kraftstoffen im Luftverkehr sind *Biokraftstoffe* in Form von hydrierten Pflanzenölen. Da einerseits die energetischen Alternativen technisch und mengenmäßig begrenzt sind und andererseits der Energieverbrauch mit dem massiven Zuwachs des Luftverkehrs weiterhin deutlich steigt, sind Verbrauchssenkungen oberstes Ziel. Die Effizienzsteigerungen zeigen zwar erste Wirkungen, bewirken jedoch noch keine grundsätzliche Trendwende zu einem sparsameren Luftverkehr mit nennenswerten Anteilen Erneuerbarer Energien. Da die technischen Entwicklungszyklen im Verhältnis zu Pkw und Lkw sehr lang sind, schlagen sich energetisch optimierte Flugzeuge erst mit relativ großer Verzögerung in geringeren Gesamtverbräuchen nieder. Angesichts der begrenzten Mengen von Biokerosin, das zudem ein Vielfaches der Kosten von fossilem Kerosin verursacht, herrscht damit im Luftverkehr besonders hoher Handlungsdruck. Wirksame politische Regulierungen könnten Anreize setzen, die einen Teil der Verkehrsleistung des Luftverkehrs, beispielsweise innerdeutsche Kurzstreckenflüge, in den Schienenverkehr verschieben. Gleichzeitig könnte ein 10.000-Tonnen-Biokerosin-Programm, wie in der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung vorgeschlagen, weitere Kostensenkungen bei diesem erneuerbaren Energieträger anreizen.

⁷⁵ Lufthansa: Biokraftstoff im Praxistest, 17. Dezember 2013, <http://www.puresky.de>.

⁷⁶ Hupe, Jane: Driving progress through action on aviation and the environment. In: ICAO Journal, Vol. 68, No. 2, März 2013.

⁷⁷ Weinhold, Nicole: Biokerosin für den Flugverkehr. In: Erneuerbare Energien, 16. Dezember 2013, <http://www.erneuerbareenergien.de/biokerosin-fuer-den-flugverkehr/150/482/75563>.

Binnenschifffahrt

Steckbrief Energiewende in der Binnenschifffahrt		Entwicklung und Herausforderungen
Bestand	ca. 3.200 Binnenschiffe ca. 10.000 km Wasserstraßen	stagnierend
Verkehrsleistung	58 Mrd. tkm	stagnierend
Energieverbrauch	ca. 3,6 bis 6,2 Mrd. kWh	sinkend
Chancen für Erneuerbare Energien	Biodiesel, Pflanzenöl (Beimischung, Reinkraftstoff)	technische Standards, Einbindung in Logistik
	Elektromobilität	Einsatz elektrischer Antriebe in Schiffen bisher nur außerhalb des Ferngüterverkehrs, z.B. kleinere Solarfähren, Ausflugsboote
	Biomethan	Markteinführung der Schiffsmotoren
	erneuerbarer Wasserstoff	Forschung und Entwicklung
	synthetisches Methan	Markteinführung der Schiffsmotoren, Forschung und Entwicklung
Bedeutung für Energiewende im Verkehr	effizientes Güterverkehrsmittel mit hohen strukturellen Wachstumshürden	Ausbau des Kombinierten Verkehrs mit Lkw-Verkehr und Schienenverkehr
	Biokraftstoffe sind mittelfristig einzige erneuerbare Energiequelle, wegen hoher systemischer Hürden für andere erneuerbare Energieträger hohe Wertigkeit von Biokraftstoffen	Elektromobilität in Personen- und Kurzstreckenverkehr, Bereitstellung ausreichender Mengen nachhaltiger Biokraftstoffe

Bestand

Insgesamt 10.000 km Wasserstraßen, davon 7.350 km Bundeswasserstraßen, bieten eine Möglichkeit zum Gütertransport, aber auch zum Personenverkehr, beispielsweise durch Fähren und eine wachsende Zahl touristischer Flussschiffsreisen. Drei Viertel der Wasserstraßen sind natürliche Flussläufe, ein Viertel sind künstlich angelegte Kanäle.⁷⁸ Im Jahr 2012 waren in Deutschland 2.225 Güterschiffe einsatzbereit.⁷⁹ Hinzu kommen knapp 1.000 Fahrgastschiffe.

⁷⁸ BMVBS: Wasserstraßen als Verkehrswege, 17. Dezember 2013,

<http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/WS/wasserstrassen-als-verkehrswege.html>.

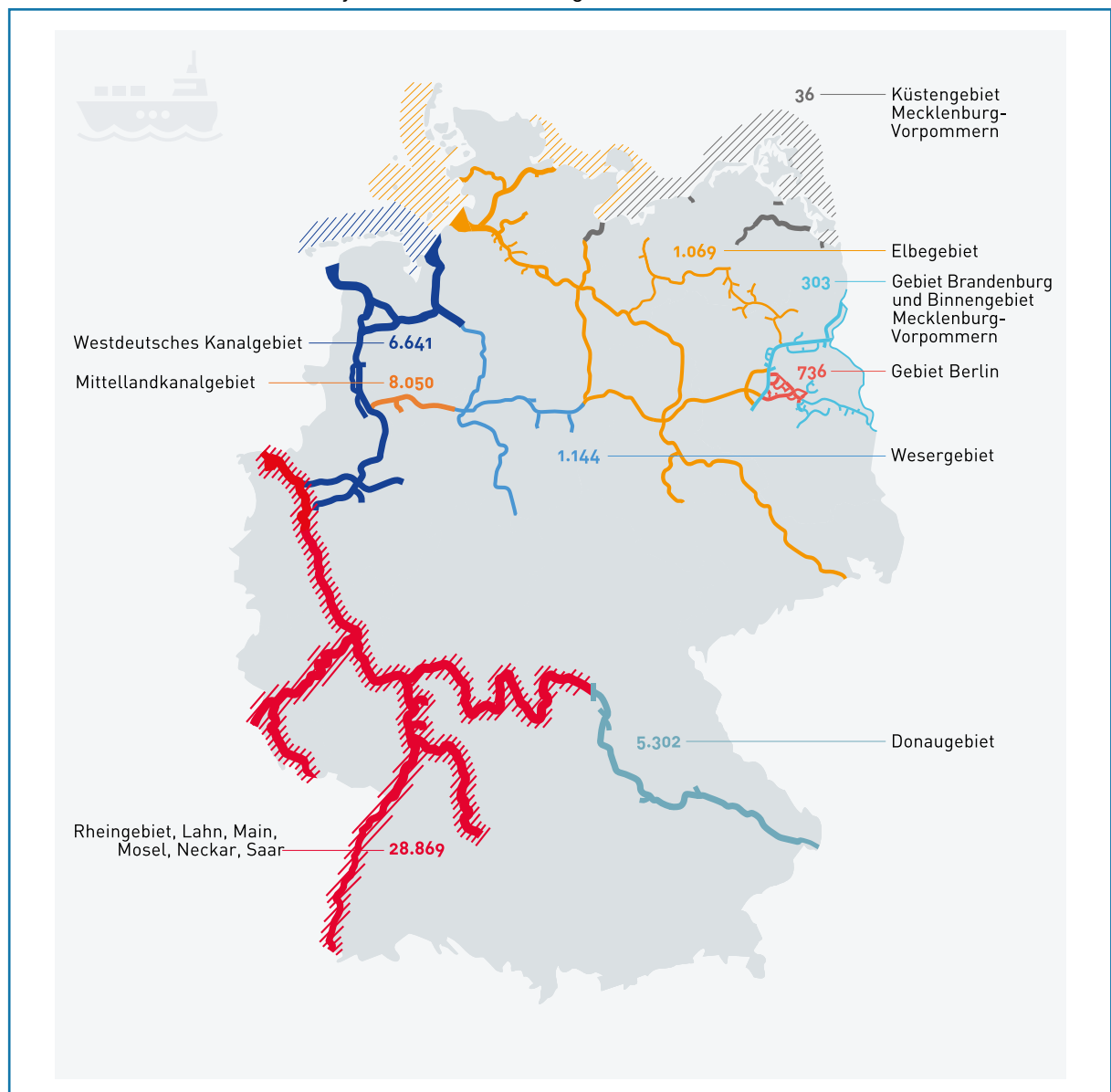
⁷⁹ Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt (BDB): Geschäftsbericht 2012/2013. Duisburg, April 2013.

Rolle im Verkehrsmix

Vor dem Siegeszug der Eisenbahn im 19. Jahrhundert waren Flüsse die wichtigsten Verkehrswege für den Warentransport. 2012 beförderten Binnenschiffe 223 Mrd. t Güter, womit der Warentransport auf dem Niveau von 1991 stagnierte. Mit 58 Mrd. *tkm* lag die Verkehrsleistung ebenfalls auf dem Niveau von 1991 und etwa halb so hoch wie der Schienengüterverkehr. Mehr als die Hälfte der transportierten Güter sind Massengüter wie Erze, Kohlen und Erdölprodukte vergleichsweise weniger Großkunden. Die Stahlindustrie ist der wichtigste Nutzer der Binnenschifffahrt.⁸⁰ Mit dem Rhein verfügt Deutschland über eine Wasserstraße mit zentraler Bedeutung für den europäischen Güterverkehr. 80 Prozent der Verkehrsleistung werden auf diesem Fluß erbracht.⁸¹ Der Binnenhafen Duisburg-Ruhrort gilt als weltweit größter Binnenhafen. Über den Main-Donau-Kanal wird in Deutschland zudem eine Binnenschifffahrtsverbindung zwischen Nordsee und Schwarzem Meer erschlossen.

Güterverkehrsdichte auf den Bundeswasserstraßen

(in Tausend Tonnenkilometern je Wasserstraßenlänge)



Quelle: Dena/Statistisches Bundesamt, Stand: 2010

⁸⁰ Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt: Geschäftsbericht 2012/2013. Duisburg, April 2013.

⁸¹ BMVBS: Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung. Berlin, Juni 2013.

Trend

Während die Verkehrsleistung der übrigen Verkehrsmittel im Güterverkehr stetig wächst, stagniert die Verkehrsleistung des Binnenschiffs im Güterverkehr. Der Anteil der Binnenschifffahrt am gesamten Güterverkehr nimmt daher kontinuierlich ab. Lag der Anteil 1960 noch bei über 20 Prozent, hat er sich bis 2012 auf 9 Prozent mehr als halbiert.

Die Verkehrsleistung der Binnenschifffahrt ist abhängig von der wirtschaftlichen Entwicklung ihrer Hauptkunden. Je nach konjunktureller Nachfrageentwicklung bei Stahl, Erzen, Kohlen und Erdölprodukten kann der Güterverkehr per Schiff stark schwanken. Muss bei Klimaextremen wie niedrigen Wasserständen im Sommer oder bei Hochwasser im Winter der Binnenschiffverkehr auf den Wasserstraßen ruhen, kann es ebenfalls zu vorübergehenden Einbrüchen kommen.

Das Bundesverkehrsministerium erwartet in der Verkehrsprognose 2007 bis 2025 einen Anstieg der Verkehrsleistung des Binnenschiffs im Güterverkehr auf 80 Mrd. *tkm*. Die Renewability-Szenarien des Öko-Instituts halten bis 2030 eine Steigerung auf 78 bis 85 Mrd. *tkm* für möglich. Das entspricht einem Anstieg um maximal 46 Prozent. Da für die konkurrierenden Verkehrsmittel wie Lkw und Güterzug ein noch stärkeres Wachstum prognostiziert wird, ist davon auszugehen, dass die Bedeutung des Binnenverkehrs weiter abnehmen wird.

Technik

Binnenschiffe werden fast ausschließlich mit Dieselmotoren angetrieben, die auf fossilen Dieselkraftstoff, *Biokraftstoff* und Gasöl zurückgreifen. Gasöl (auch: Mitteldestillat) ist ein bei der Verarbeitung von Rohöl zu Diesel entstehendes Vorprodukt, das in weniger anspruchsvollen Dieselmotoren in Binnenschiffen genutzt wird. Seit 2012 ist erstmals ein Binnenschiff zugelassen, das mit verflüssigtem Erdgas (LNG) angetrieben wird. Die etablierten Dieselmotoren arbeiten bereits relativ effizient. Ein großes Effizienzsteigerungspotenzial wird von der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung daher nicht identifiziert.

Elektrische Antriebe kommen in der Personenschifffahrt bei Fähren und Ausflugsbooten bereits vereinzelt zum Einsatz. Solarfähren sind unter anderem am Bodensee im Einsatz. Sie nutzen direkt erneuerbaren Strom bzw. beziehen diesen aus dem Stromnetz, um ein Akku zu laden, das den Elektromotor speist.⁸² Für den Ferngüterverkehr mit dem Binnenschiff kommen elektrische Antriebe angesichts der um ein Vielfaches umfangreicheren Massen bisher nicht in Frage. Allerdings versehen elektrisch angetriebene Frachtschiffe seit 2010 im niederländischen Utrecht erfolgreich Müllabfuhr und Gütertransporte. Antriebe mit einer Brennstoffzelle sind technisch möglich, aber noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium.

Energieverbrauch

Das Binnenschiff ist neben dem Güterzug das energieeffizienteste Verkehrsmittel. Für die gleiche Transportleistung benötigt ein Binnenschiff nur etwa ein Drittel der Energie eines Lkw. Der Einsatz sparsamerer Binnenschiffe als auch der leichte Rückgang der Verkehrsleistung spiegeln sich im gesunkenen Energieverbrauch der Binnenschifffahrt. Angenommen wird, dass der Kraftstoffverbrauch zwischen 1994 und 2011 um rund ein Viertel zurückging.⁸³ Dabei ist die Binnenschifffahrt bisher fast ausschließlich von den fossilen Kraftstoffen Gasöl und Diesel abhängig.

⁸² <http://www.solarfaehre.de>, <http://www.solarwaterworld.de>.

⁸³ IfEU: Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960 – 2030. TREMOD, Version 5.25. Heidelberg, September 2012.

Politische Rahmenbedingungen

Die europäische und bundesdeutsche Verkehrspolitik streben grundsätzlich eine Verlagerung von Güterverkehr von der Straße zum energieeffizienten Verkehrsmittel Binnenschifffahrt an. Neben dem Luftverkehr ist die gewerbliche Binnenschifffahrt der einzige Verkehrssektor, dessen fossiler Kraftstoffverbrauch nicht besteuert wird.

Spezifische Ausbauziele für Erneuerbare Energien oder *Energieeffizienz* in der Binnenschifffahrt bestehen nicht. Ein Motorenförderprogramm der Bundesregierung unterstützt den Einbau energieeffizienter Motoren in Binnenschiffen. Die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), eine internationale Regulierungsinstitution für die grenzüberschreitende Binnenschifffahrt, hat eine Reduktion der Treibhausgasemissionen der Rhein-Binnenschifffahrt bis 2050 um 60 Prozent als Ziel ausgegeben.

Chancen für Erneuerbare Energien

Biokraftstoffe sind derzeit die einzige Möglichkeit, Erneuerbare Energien in relevanten Mengen in der Binnenschifffahrt einzusetzen. Diese Option wird bisher allerdings kaum genutzt, da technische Qualitätsstandards für die Beimischung von *Biokraftstoffen* als auch für deren Einsatz in Schiffsdieselmotoren weitgehend fehlen. Außerdem sind *Biokraftstoffe* bisher nicht in die Kraftstoffversorgungslogistik der Binnenschifffahrt integriert. Die ZKR erklärt in ihrer Strategie zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen den Einsatz von *Biokraftstoffen* zu einem der Eckpunkte. Neben *Biodiesel* und Pflanzenöl als Substitut für Gasöl bzw. fossilen Diesel kommt *Biomethan* als Alternative zu verflüssigtem Erdgas (LNG, Liquefied Natural Gas) bzw. komprimiertem Erdgas (CNG, Compressed Natural Gas) in Frage.⁸⁴ Im Vergleich zu *Biokraftstoffen* im Pkw- und Lkw-Verkehr ist die Entwicklung jedoch am Anfang.

Insbesondere aus Gründen des Gewässerschutzes wäre der Ersatz fossiler Kraftstoffe durch *Biokraftstoffe* naheliegend. Strengere Abgasgrenzwerte zur Begrenzung der Schadstoffemissionen (Schwefel und Schwermetalle) von Schiffsdieselmotoren machen den Einsatz von *Biokraftstoffen* zusätzlich attraktiv.

Für elektrische Antriebe von Fähr- und Ausflugsschiffen im touristischen Bereich ist bereits aus Image-Gründen der Einsatz von erneuerbarem Strom attraktiv. Allerdings ist bei hohen Investitionskosten und langen Lebensdauern der Schiffe nicht mit einer schnellen Steigerung der Anteile zu rechnen.

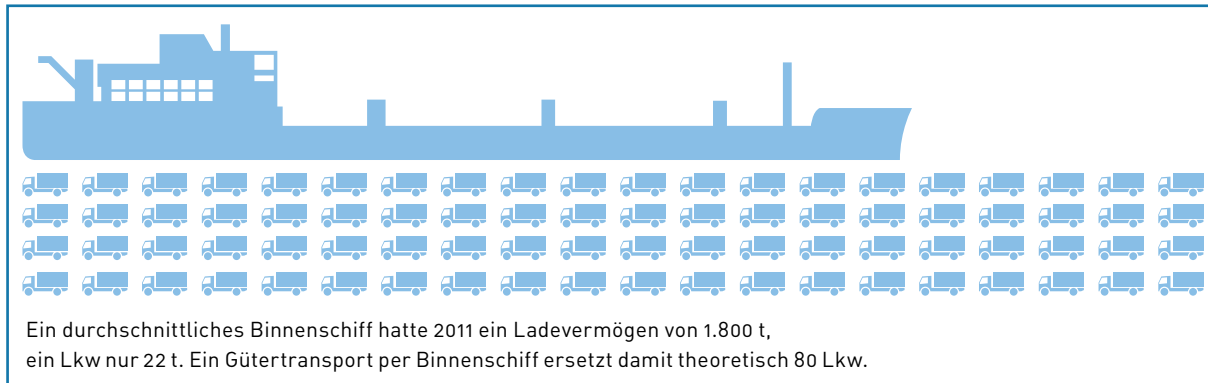
Bedeutung für die Energiewende im Verkehr

Die Binnenschifffahrt hat es seit den 1990er Jahren nicht geschafft, zu einer größeren Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße aufs Schiff beizutragen. Das liegt nicht allein an der begrenzten Infrastruktur der Wasserstraßen. Angebote des Kombinierten Verkehrs konnten jährlich bisher nur rund 2 Mrd. *tkm* von der Straße auf das Schiff verlagern.⁸⁵ Das Wachstum des Güterverkehrs ging an der Binnenschifffahrt vorbei. Eine bessere Verknüpfung von Straße und Schiene mit dem Schiff könnte dessen Anteil an der Verkehrsleistung steigern.

⁸⁴ Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR): Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt. Strasbourg, November 2012.

⁸⁵ BMVBS: Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung. Berlin, Juni 2013.

Hohe Ladekapazität von Binnenschiffen



Quelle: Statistisches Bundesamt, Stand: 4/2013

Wie der Schienengüterverkehr ist die Binnenschifffahrt aus Sicht der *Energieeffizienz* erste Wahl, doch sind die Einsatzmöglichkeiten für erneuerbare Energieträger bisher nicht mobilisiert. Die vollständige Abhängigkeit der Binnenschifffahrt von fossilen Kraftstoffen muss in Zukunft verringert werden. Steigende fossile Kraftstoffkosten werden von der Branche selbst als Bedrohung der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Schiene und Lkw interpretiert.⁸⁶ *Biodiesel* und verflüssigtes *Biomethan* sind dabei kurz- und mittelfristig die wichtigste Option, um fossile Energieträger zu ersetzen.

Erneuerbarer Strom kann langfristig einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung der Binnenschifffahrt werden. Hier bestehen drei Möglichkeiten:

1. Der Strom kann direkt in einer Batterie (Akku) gespeichert werden, der dann das Schiff antreibt. Die hohen Kosten und die geringen Reichweite machen einen Batterieantrieb zurzeit allerdings nur für kleinere Personenboote interessant.
2. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung der elektrischen Energie zur Wasserstoffherstellung per Elektrolyse. Wird *erneuerbarer Wasserstoff* in einer Brennstoffzelle verbrannt, kann die freigesetzte Energie einen Elektromotor antreiben. Als Energieträger mit hoher Energiedichte ist er aus Sicht der Anforderungen der Binnenschifffahrt attraktiv.
3. Etablieren sich Gasmotoren schrittweise in der Binnenschifffahrt, bietet sich *synthetisches Methan* als eine weitere Alternative an.

⁸⁶ ZKR: Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt. Strasbourg, November 2012.

Zusammenfassende Bewertung

Große strukturelle Hemmnisse ...

Die Energiewende im Verkehrssektor hat es nicht leicht: Während erneuerbarer Strom über die bestehende Infrastruktur des Stromnetzes problemlos seine Endverbraucher erreicht, herrscht im Verkehrssektor nicht nur eine große Vielfalt von Verkehrsmitteln, auch bestehen je nach Antriebsart und Mobilitätsbedarf höchst unterschiedliche technische Rahmenbedingungen für den Einsatz Erneuerbarer Energien. Der elektrifizierte Schienenverkehr, in dem schnell und problemlos erneuerbarer Strom eingesetzt werden kann, macht sowohl beim Transport von Personen als auch von Gütern nur einen kleinen Anteil der Verkehrsleistung aus. Dagegen übernehmen die aus energetischer Sicht ineffizientesten Verkehrsmittel mit den höchsten spezifischen Treibhausgasemissionen, nämlich Pkw und Lkw mit ihren Verbrennungsmotoren, jeweils rund drei Viertel der zu leistenden Personen- und Gütertransporte.

Während der allgemeine Energieverbrauch vom Wirtschaftswachstum erfolgreich entkoppelt wurde, ist die Entwicklung im Verkehrssektor gegenläufig: Hier steigt die Transportintensität auch während der Wirtschaftskrise weiter an. Zwar zeigen alle Verkehrsmittel mehr oder weniger starke Effizienzsteigerungen, doch werden gleichzeitig immer mehr Personen und Güter über immer weitere Entfernungen transportiert. Seit Ende der 1990er Jahre hat der Lkw-Verkehr um ein Drittel zugelegt. Der Flugverkehr hat sich annähernd verdoppelt. Damit wuchsen die energieintensiven Verkehrsmittel überproportional stark. Eine Trendwende bei Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen des Verkehrs ist daher bisher nicht zu erkennen: Der (erneuerbare) Stromverbrauch im Verkehrssektor ist – bedingt durch die Infrastruktur – auf Quasi-Nischen beschränkt. Gleichzeitig ist der Einsatz von *Biokraftstoffen* in den dominierenden Verbrennungsmotoren technisch, politisch und hinsichtlich der verfügbaren Potenziale de facto gedeckelt. Die überschaubaren Fortschritte durch technische Effizienzsteigerungen und Verkehrsverlagerungen werden vom deutlich höheren Zuwachs des Verkehrsaufkommens kompensiert. Angesichts eines seit Beginn der 1990er Jahre auf gleich hohem Niveau verharrenden Energieverbrauch ist der Beitrag Erneuerbarer Energien nur langsam gestiegen auf rund 5 Prozent im Jahr 2012.

...und ebenso hohe psychologische Hürden für eine Energiewende im Verkehr

Die Reaktionsträgheit der Infrastrukturen und des Fahrzeugparks sind aber nicht die einzigen Hemmnisse für eine Energiewende im (Personen-)Verkehr. Am Anfang der beschriebenen strukturellen Probleme des Verkehrssektors stehen konkrete Mobilitätsbedürfnisse von Verkehrsteilnehmern. Auch hier ist Reaktionsträgheit festzustellen: Umfangreiche umweltpsychologische Erhebungen des Umweltbundesamtes zeigen, dass im Personenverkehr weiterhin eine große Zufriedenheit mit dem persönlich gewählten Hauptverkehrsmittel, dem Pkw, herrscht.

Alternative Angebote wie der Bus- und Schienenverkehr sind teilweise nicht in akzeptabler Reichweite und Häufigkeit vorhanden. Aus Gründen der Bequemlichkeit und Praktikabilität verharren viele gewohnheitsmäßige Autofahrer beim Pkw und nutzen kaum öffentliche Verkehrsmittel: Laut der Erhebung „Mobilität in Deutschland 2008“ ist etwa die Hälfte der Bevölkerung in Deutschland noch niemals mit der Bahn gefahren.⁸⁷ Jene Verkehrsteilnehmer, die kaum oder nie Alternativen zum Pkw nutzen, pflegen Vorurteile gegenüber öffentlichen Verkehrsmitteln, während jene Verkehrsteilnehmer, die häufig mit Bus und Bahn unterwegs sind, große Zufriedenheit mit ihrem Verkehrsmittel äußern.⁸⁸

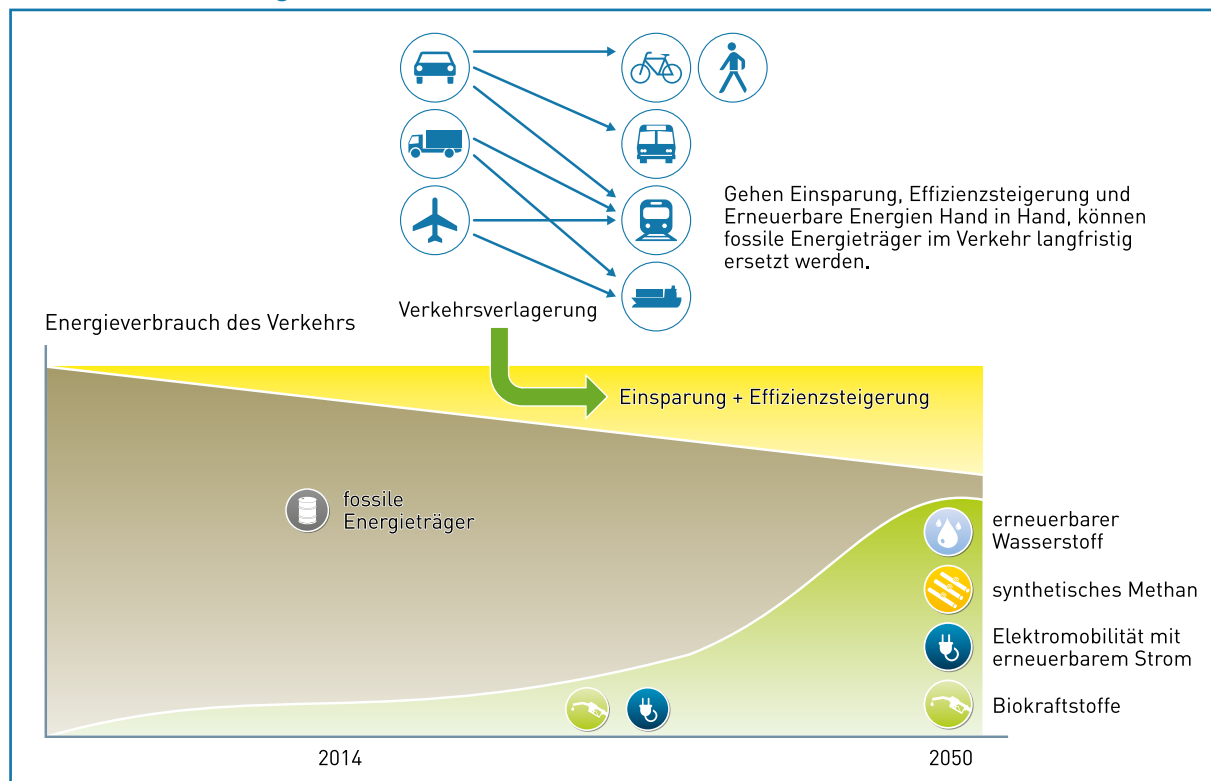
⁸⁷ VCD: VCD-Bahntest 2011. Berlin, November 2011.

⁸⁸ BMU/UBA: Umweltbewusstsein in Deutschland 2012. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin/Dessau-Roßlau, Januar 2013.

Effizienz und Erneuerbare Energien müssen sich ergänzen

Die Verkehrsprognosen unterschiedlicher Institutionen erwarten trotz Wirtschaftskrise einhellig ein weiteres Wachstum des Güterverkehrs. Für die exportorientierte deutsche Industrie ist eine leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur aus Gründen der Wettbewerbsfähigkeit entscheidend. Steigende Transportkosten haben in einzelnen Verkehrssegmenten zwar technische Effizienzsteigerungen anreizen können, aber noch nicht die notwendigen umfassenden Verkehrsverlagerungen einleiten können, die für eine deutliche Verbrauchsreduktion notwendig wären.

Erneuerbare Energiewende im Verkehr



Quelle: AEE, eigene Darstellung

Weitere Anstrengungen zur Verkehrsvermeidung, Verlagerung und zur Effizienzsteigerung (beispielweise strenge Flottengrenzwerte, Förderung des Kombinierten Verkehrs) sind zwar verhältnismäßig schnell umzusetzen im Rahmen laufender Planungs- und Investitionszyklen. Diese relativ leicht zu erreichenden Ziele, die „low hanging fruits“ einer graduellen Effizienzsteigerung, reichen jedoch nicht aus. Sie können die Abhängigkeit des Verkehrs von fossilen Energieträgern nicht auflösen. Bei zunehmender Verknappung von Erdöl stehen Versorgungssicherheit und die Kostenstabilität der Energieversorgung des Verkehrssektors in Frage. Unabhängig von der Verfügbarkeit und Kostenentwicklung bei den aktuell dominierenden fossilen Energieträgern erfordert der Klimaschutz einen Umstieg auf Erneuerbare Energien. Die Aufnahmekapazität der Erdatmosphäre mit Treibhausgasen ist begrenzt. Ein weiterer Anstieg der Emissionen im Verkehrssektor ist unvereinbar mit den nationalen und internationalen Reduktionszielen.

Vor diesem Hintergrund ist unverzichtbar, dass für eine Energiewende im Verkehr Effizienzsteigerungen und der Ausbau der Erneuerbaren Energien ineinandergreifen. Nur wenn der Energieverbrauch in den Mobilitätsstrukturen massiv gesenkt wird, kann ein Zubau Erneuerbarer Energien mehr als nur den allgemeinen Verbrauchszuwachs abdecken. Auch wenn die Nutzung von erneuerbarem Strom, z.B. bei Elektrofahrzeugen, mit höheren Markteinführungskosten verbunden ist, auch wenn die Nachhaltigkeit von *Biokraftstoffen* durch aufwändige Kontrollsysteme geprüft werden muss, so sind ohne diese Energieträger keine weiterreichenden Treibhausgaseinsparungen möglich.

Biokraftstoffe sind vorerst einzige Alternative zu Erdöl...

Sollen die europäischen und nationalen Ziele für Klimaschutz und Ausbau Erneuerbarer Energien bis 2020 erreicht werden, führt an den etablierten *Biokraftstoffen Biodiesel* und *Bioethanol* kein Weg vorbei. Um negative ökologische Auswirkungen des *Energiepflanzenanbaus* für *Biokraftstoffe* zu vermeiden und eine Netto-Treibhausgaseinsparung zu garantieren, gelten seit 2011 in Deutschland die *EU-Nachhaltigkeitsstandards*. Dabei sorgen Zertifizierungssysteme unter anderem dafür, dass der Rohstoff, ob in der EU angebaut oder importiert, nicht aus ökologisch problematischen Anbauregionen stammt. Damit bieten *Biokraftstoffe* bisher die einzige klimafreundliche Alternative zu flüssigen fossilen Kraftstoffen, die direkt im bestehenden Fahrzeugpark eingesetzt werden kann.

...mit relevantem, aber begrenztem Potenzial

Das Potenzial der Biomasse für die Produktion von *Biokraftstoffen* ist dabei allerdings durch die vorhandenen Rohstoffe und Anbauflächen begrenzt. Trotz anhaltender Überproduktion von Agrargütern in der EU und vorhandenen Brachflächen werden *Flächenkonkurrenzen* mit der Futter- und Nahrungsmittelproduktion befürchtet. Deshalb will ein Vorschlag der EU-Kommission vom Oktober 2012 den Beitrag der etablierten *Biokraftstoffe Biodiesel* und *Bioethanol* aus *Energiepflanzen* zum Erreichen des Ausbauziels von 10 Prozent Anteil Erneuerbarer Energien bis 2020 limitieren. Den verbleibenden Beitrag zum Ausbauziel sollen unter anderem neue synthetische *Biokraftstoffe*, *Biokraftstoffe* auf Basis von Reststoffen, *erneuerbarer Wasserstoff* oder erneuerbarer Strom leisten.

Neben den bereits in Markt und Technik eingeführten *Biokraftstoffen Biodiesel* und *Bioethanol* sind kurzfristig keine bedeutenden Mengen neuerer *Biokraftstoffe* (sogenannte „2. Generation“) im Kraftstoffmarkt zu erwarten. *Bioethanol* aus Lignocellulose (Holz, Stroh) wird erst im Pilotmaßstab erprobt. Synthetische *Biokraftstoffe*, die durch das Fischer-Tropsch-Verfahren aus einem Synthesegas gewonnen werden, produzieren weltweit ebenfalls nur vereinzelte Pilotanlagen. Biokerosin aus Algen ist noch Gegenstand der Forschung.⁸⁹ Frühestens im Zeitraum 2020 bis 2030 könnten die Produktionsverfahren so weit vorangeschritten sein, dass marktfähige *Biokraftstoffe* angeboten werden.⁹⁰ Die Erfüllung der *Biokraftstoffquote* für den deutschen Kraftstoffverbrauch wird ab 2015 nach dem Kriterium der spezifischen Treibhausgaseinsparung ermittelt. Damit ergibt sich ein weiterer Anreiz für innovative *Biokraftstoffe* mit besonders guter Klimabilanz, voraussichtlich jedoch noch keine ausreichender Anstoß für die Markteinführung der *Biokraftstoffe* der so genannten „2. Generation“.⁹¹

Nennenswerte Beiträge von erneuerbarem Strom zur Energieversorgung des Pkw- und Lkw-Verkehrs wie auch von erneuerbarem *Wasserstoff* und synthetischem Methan sind angesichts hoher Kosten voraussichtlich erst nach 2030 zu erwarten.⁹² Zum Erreichen der EU-Ausbauziele bis 2020 sind daher die eingeführten *Biokraftstoffe Biodiesel* und *Bioethanol* unverzichtbar.

⁸⁹ Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ): Monitoring Biokraftstoffsektor. Leipzig, Oktober 2012; Kerkow, Birger: Biomassepotenziale und -technologien für besonders nachhaltige Biokraftstoffe. Vortrag, Berlin, 11. Dezember 2013.

⁹⁰ Internationale Energie-Agentur (IEA): Technology Roadmap. Biofuels for Transport. Paris, April 2011.

⁹¹ Majer, Stefan: Wer profitiert von der THG-Quote? – Kosten und THG-Bilanz unterschiedlicher Biokraftstoffe im Vergleich. Vortrag, Berlin, 11. Dezember 2013.

⁹² IEA: Global EV Outlook. Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020. Paris, April 2013; Fraunhofer ISI: Markthochlaufsenarien für Elektrofahrzeuge. Karlsruhe, September 2013; Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST): Analyse der Kosten erneuerbarer Gase. Bochum, Dezember 2013.

Ausblick

Der Verkehrssektor hat es schwer, aus der Rolle eines Stiefkindes der Energiewende herauszukommen. Infrastrukturelle und technische Hürden werden weiterhin nur langsam überwunden werden können – falls nicht ein Preisschock bei den immer knapperen fossilen Energieträgern einen radikalen Umbruch von Energieversorgung und Mobilitätsstrukturen provoziert.

Um das 10-Prozent-Ziel für Erneuerbare Energien im Verkehr bis 2020 zu erreichen und gleichzeitig die Verbrauchsreduktion um 10 Prozent zu schaffen, müssen für die jeweiligen Verkehrsmittel angepasste Maßnahmen entwickelt werden

- zur Steigerung des Einsatzes Erneuerbarer Energien und
- für effizientere Verbrauchsstrukturen, d.h. für Fahrzeugpark und Infrastruktur.

Die spezifischen Einsatzmöglichkeiten für Erneuerbare Energien, die in den vorherigen Kapiteln untersucht wurden, lassen in Zukunft eine größere Vielfalt von Energieträgern und Antriebskonzepten erwarten.

Die Szenarien des Projekts Renewability als auch die von den Bundesministerien in Auftrag gegebenen Prognosen zeigen, dass auch bei ambitionierten politischen Vorgaben bis 2030 die Anteile der Verkehrsträger an der Verkehrsleistung weitgehend unverändert bleiben.

Personenverkehr: Einsparen, verlagern, elektrifizieren

Nicht nur die Energieversorgung, auch das Mobilitätsverhalten der Deutschen muss sich erneuern. Zwar ist sich die Mehrheit der Bevölkerung der ökologischen Nachteile des Pkw-Verkehrs bewusst und trägt dessen hohe Mobilitätskosten. Dennoch bleiben individuelle Verhaltensmuster weitgehend unverändert. Eine politische Herausforderung ist die notwendige, mutige Strategie zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung insbesondere des Pkw-Verkehrs auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel. Zentrale Aufgabe wäre eine Verbesserung des Angebotes öffentlicher Verkehrsmittel, qualitativ, quantitativ und hinsichtlich ihres Images. Dabei könnten sich politische Entscheider darauf stützen, dass das Automobil als Statussymbol nicht mehr völlig unangefochten ist und sich rund die Hälfte der deutschen Bevölkerung von negativen Folgen des motorisierten Straßenverkehrs gestört fühlen. Knapp die Hälfte der Deutschen befürwortet auch ein Tempolimit von 130 km/h auf Autobahnen.⁹³ Während sich bei Kurzstrecken und für Pendler das Fahrrad, Busse und Bahnen anbieten, muss der massive Anstieg des Luftverkehrs bei Langstrecken durch eine Verlagerung dieser Verkehrsleistung in Hochgeschwindigkeitszüge gebremst werden.

Hinsichtlich der Energieversorgung erscheint eine weitgehende Elektrifizierung des verbleibenden Pkw-Verkehrs sinnvoll, zunächst mit Hybridantrieben, dann gefolgt von „Plug-In Hybrid“-Fahrzeugen und reinen Elektrofahrzeugen. Die konsequente Weiterentwicklung der CO₂-Flottengrenzwerte für Pkw kann als indirektes Markteinführungsprogramm für Hybridantriebe funktionieren, da ab einem bestimmten Emissionsniveau es nur noch (teil-)elektrische Antriebe schaffen, die Werte zu unterlaufen.

⁹³ BMU/UBA: Umweltbewusstsein in Deutschland 2012. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin/Dessau-Roßlau, Januar 2013.

Güterverkehr: Verlagern und Biokraftstoffe nutzen

Die Verlagerung auf die elektrifizierte Schiene hat Priorität für eine erneuerbare Energiewende im Güterverkehr. Der Lkw-Verkehr sollte in Zukunft nicht mehr als Konkurrenz, sondern als Zulieferer bzw. Auslieferer von Güterzug und Binnenschiff fungieren. Noch ist jedoch kein reibungsloses Ineinandergreifen im Kombinierten Verkehr zu erkennen.

Elektrische Antriebe sind im Lkw-Schwergüterverkehr nur bedingt einsatzfähig. Solange kein Überangebot von günstigem erneuerbarem Strom zur Umwandlung in erneuerbaren *Wasserstoff* oder *synthetisches Methan* bereitsteht, sollte der Beitrag von *Biokraftstoffen* in diesem Verkehrsegment gesteigert werden.

Mittelfristig kann sich bei einem ganzheitlichen Abgleich der Potenziale erneuerbarer Energieträger mit dem Energiebedarf der (effizienteren) Verkehrsmittel folgende Entwicklung ergeben: Die begrenzten Potenziale von *Biokraftstoffen* werden jenen Verkehrsmitteln zugeordnet, die sich nicht elektrifizieren lassen bzw. wo Alternativen nur schwer mobilisierbar bleiben und ein hoher Sockel von Treibhausgasemissionen verbleibt. Damit wäre neben dem Lkw-Verkehr die Luftfahrt prädestiniert für den Einsatz von *Biokraftstoffen*. In diesen Bereichen klaffen notwendige Treibhausgasreduktionen und prognostizierter Verkehrszuwachs besonders weit auseinander. Auch in der Binnenschifffahrt sind *Biokraftstoffe* die einzige heute verfügbare Alternative.

Da im Güterverkehr auch nach Umsetzung ambitionierter politischer Vorgaben zur Verkehrsverlagerung bis 2030 ein weiterer Anstieg der Verkehrsleistung erwartet wird, können Effizienzsteigerungen hier nur dämpfend auf den Energiebedarf wirken. Umso wichtiger wird aus Gründen des Klimaschutzes die Basis der Energieversorgung selbst. Die systemischen und infrastrukturellen Hürden für Erneuerbare Energien sind im Luftverkehr und im Güterverkehr besonders hoch. Darum haben *Biokraftstoffe* in diesem Segment eine entsprechend höhere Wertigkeit als im Pkw-Verkehr.⁹⁴

Eine Zuordnung der begrenzten *Biokraftstoff*potenziale zu den unterschiedlichen Verkehrsmitteln könnte in einer neuen *Biokraftstoff*strategie definiert werden. Der Koalitionsvertrag der im Dezember 2013 angetretenen Regierungskoalition von Union und SPD sieht eine Neuformulierung einer solchen *Biokraftstoff*strategie vor, bei Weiterentwicklung der 2012 vorgelegten Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie.⁹⁵

Potenziale Erneuerbarer Energien im Verkehr bis 2030

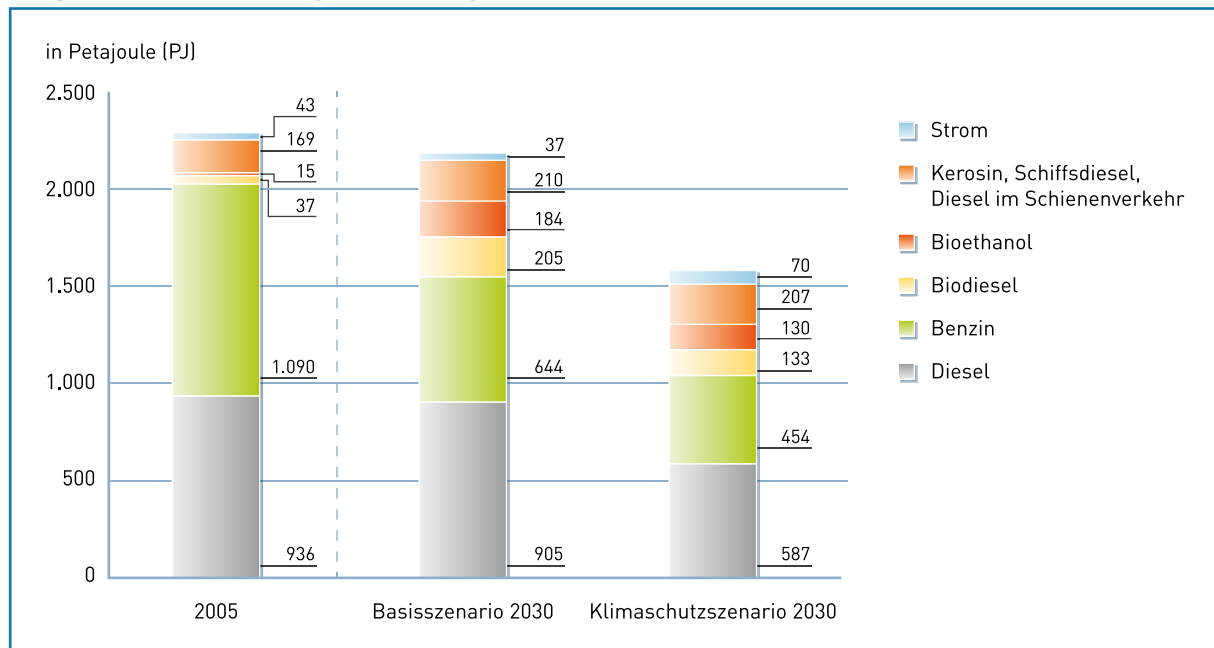
Eine umfangreiche Modellierung zum Erreichen eines anspruchsvollen Klimaschutzbeitrags im Verkehrssektor wurde vom „Renewability“-Projekt durchgeführt. Das Forschungsprojekt unter Leitung des Öko-Instituts soll helfen, ganzheitliche Strategien für eine nachhaltige Mobilität zu entwickeln. Die vom Modell gelieferten Ergebnisse erlauben Rückschlüsse auf den zukünftigen Fahrzeugbestand, die Verkehrsnachfrage, den Energiebedarf und die Emissionen sowie die wirtschaftlichen Effekte des Verkehrs in Deutschlands. Daraus können Rückschlüsse auf die Auswirkungen der möglichen Maßnahmen für eine Energiewende im Verkehr getroffen werden. So lässt sich etwa bewerten, ob eine Maßnahme tatsächlich den gewünschten Effekt erzielen wird, und welche volkswirtschaftlichen Auswirkungen zu erwarten sind.

⁹⁴ Öko-Institut/DLR/Fraunhofer ISI: Renewability II. Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Berlin/Darmstadt/Freiburg/Karlsruhe, November 2012.

⁹⁵ CDU/CSU/SPD: Deutschlands Zukunft gestalten. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 18. Legislaturperiode. Berlin, November 2013.

„Renewability“ modelliert zwei Szenarien ausführlich: Das Basisszenario berücksichtigt neben den sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen auch die schon heute beschlossenen politischen Maßnahmen im Verkehrssektor. Das sind beispielsweise die Projekte im Bundesverkehrswegeplan, der EU-Flottengrenzwerte für Pkw und die *Biokraftstoff*-Quoten im Straßenverkehr.

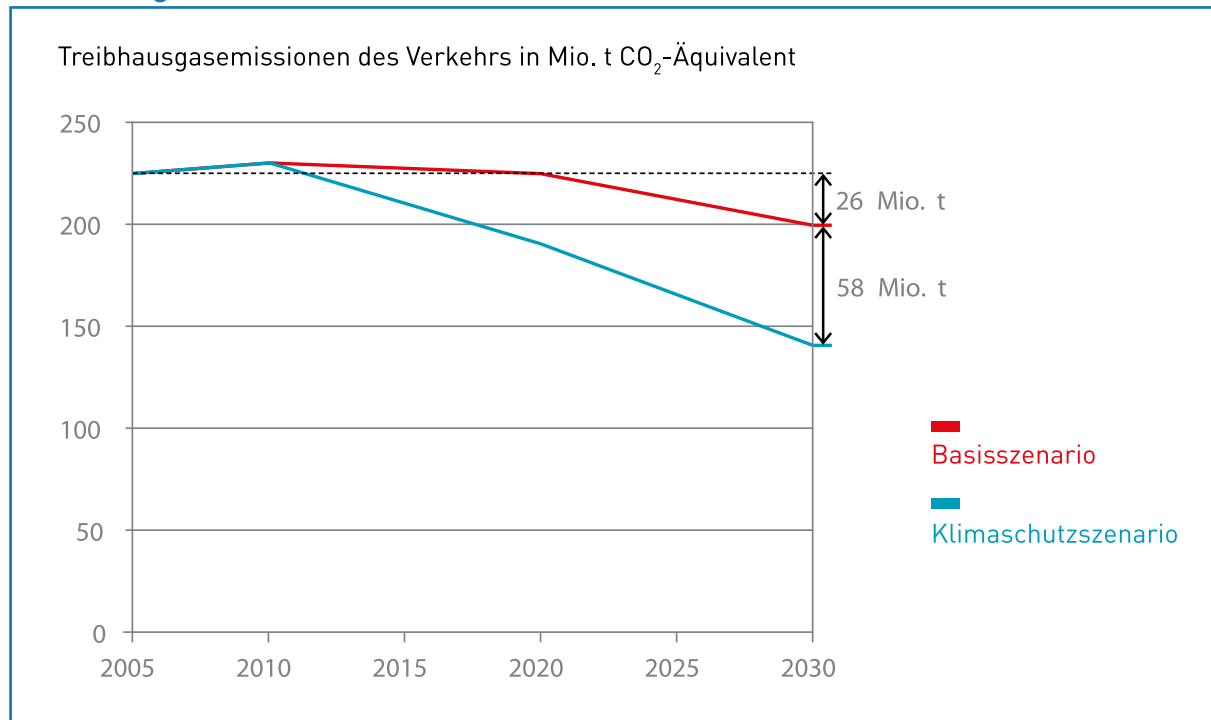
Mögliche Entwicklung des Energieverbrauchs im Verkehrssektor bis 2030⁹⁶



Auswirkungen ambitionierterer Maßnahmen fließen in das Klimaschutzszenario ein. Der Anteil von *Biokraftstoffen* steigt hier bis 2030 auf 21 Prozent des Energieverbrauchs. Die Forscher gehen von einem deutlich ausgeweiteten und attraktiveren Bus- und Schienenverkehr aus. Dieser soll durch zusätzliche Linien, verkürzte Fahrzeiten sowie durch die Integration von Fahrrad- und Carsharing-Angeboten unterstützt werden. Die CO₂-Emissionsstandards für Pkws werden bis zum Jahr 2030 auf 60 g/km fortgeschrieben. Außerdem wären leichte Nutzfahrzeuge von Flottengrenzwerten betroffen. Das Szenario geht außerdem von 6 Millionen Elektroautos bis 2030 aus, deren Strombedarf durch Erneuerbare Energien gedeckt wird. Es wird von stark steigenden Kraftstoffsteuern ausgegangen, zudem steigt die Beimischung von *Biodiesel* bis 2030 auf 20 Prozent. Durch stärkere Förderung von Kombiniertem Verkehr wird eine Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf Schiene und Binnenschiff erleichtert.

⁹⁶ Öko-Institut: Öko-Institut/DLR/Fraunhofer ISI: Renewability II. Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Berlin/Darmstadt/Freiburg/Karlsruhe, November 2012.

Treibhausgasemissionen des Verkehrs können bis 2030 um bis zu 37 Prozent sinken



Im Ergebnis können nachhaltig erzeugte *Biokraftstoffe* alleine die Treibhausgasemissionen des Verkehrs bis 2030 um 12 Prozent reduzieren. Elektrofahrzeuge, die mit Erneuerbaren Energien angetrieben werden, reduzieren die Emissionen bis 2030 um 4 Prozent.

Chancengleichheit durch wahre Preise

Zu welchen Kosten welche Güter transportiert werden können und wie viel Endverbraucher dafür zahlen, um von einem Ort zum anderen zu gelangen, ist ein wichtiger Einflussfaktor für die Wahl des Verkehrsmittels – neben den beschriebenen strukturellen, technischen und psychologischen Faktoren. Die Entwicklung der Mobilitätskosten konnte in dieser Publikation nicht ausführlicher untersucht werden. Scheinbar billige fossile Energieträger haben das massive Wachstum der Verkehrsleistungen erst ermöglicht. Ihre Verknappung kann ein Treiber des notwendigen Wandels zu effizienten und erneuerbaren Mobilitätsstrukturen werden. Weder der Kostenwettbewerb zwischen den Verkehrsmitteln noch zwischen den Energieträgern basiert jedoch auf Chancengleichheit. Die Nutzer der Verkehrsmittel müssen höchstens kleine Anteile ihrer spezifischen Gesamtkosten bezahlen. Die Infrastrukturkosten als auch externe Kosten wie Umwelt- und Gesundheitsschäden sowie Lärmbelästigung werden höchst unterschiedlich verteilt. Verursacher und Nutzer umweltschädlicher Verkehrsmittel tragen diese Kosten nur teilweise. Häufig müssen die Allgemeinheit der Steuerzahler bzw. zukünftige Generationen dafür aufkommen. Die politischen Rahmenbedingungen steuern bisher noch nicht kohärent auf eine Energiewende im Verkehr hin. Sie tragen vielmehr in einigen Bereichen zu einer weiteren Verzerrung bei. So wird der besonders klimaschädliche und energetisch ineffiziente Luftverkehr nicht besteuert. Der Einsatz nachhaltig zertifizierter *Biokraftstoffe* aus *Energiepflanzen* wird dagegen besteuert und soll innerhalb des EU-Ausbauziels gedeckelt werden. Damit ist ein Erreichen der 10-Prozent-Marke im Jahr 2020 unrealistisch. Würden die Mobilitätskosten die wahren Kosten des Verkehrsmittels und der Energieträger widerspiegeln, könnte die Energiewende im Verkehr davon nur profitieren.

Glossar

Biokraftstoffquote

Die Biokraftstoffquote legt den Anteil des Kraftstoffabsatzes fest, der mindestens durch *Biokraftstoffe* abgedeckt werden muss. Gemäß dem Biokraftstoffquotengesetz werden in Deutschland von 2010 bis 2014 mindestens 6,25 Prozent des Kraftstoffverbrauchs durch *Biokraftstoffe* abgedeckt. Ab 2015 wird die Biokraftstoffquote über das Kriterium der Treibhausgaseinsparung des jeweiligen *Biokraftstoffs* definiert. Das Biokraftstoffquotengesetz legte seit 2007 die Mindestquote für *Biokraftstoffe* am Kraftstoffverbrauch fest. Die Mineralölkonzerne können diesen Anteil durch das Beimischen von *Biokraftstoff* zu fossilen Kraftstoffen erbringen, durch den Absatz von reinem *Biokraftstoff* oder durch den Erwerb von Quoten abgesetzter Biokraftstoffmengen anderer Anbieter.

Biodiesel

Biodiesel ist der in Deutschland am weitesten verbreitete *Biokraftstoff*. Biodiesel wird mittels eines chemischen Prozesses, der Umesterung, aus Pflanzenöl von Ölpflanzen unter Einsatz von Alkohol gewonnen. In Deutschland kommt hauptsächlich Raps zum Einsatz. Auch Sonnenblumenöl, Soja- und Palmöl können verarbeitet werden, wenn Produzenten nachweislich bestimmte ökologische Mindestkriterien einhalten. Neben der Nutzung von Pflanzenölen zur Kraftstoffherstellung können auch Reststoffe wie Fritier- oder Bratfett für die Biodieselproduktion genutzt werden. Nebenprodukt der Produktion von Biodiesel ist Glycerin, das in der chemischen Industrie zum Einsatz kommt. Rapsschrot, ein weiteres Koppelprodukt der Biodieselproduktion, dient als Futtermittel. Biodiesel kann sowohl als Reinkraftstoff getankt werden oder fossilem Dieselkraftstoff in Deutschland bis zu einem Anteil von 7 Prozent beigemischt werden.

Bioethanol

Bei Ottomotoren kommt statt *Biodiesel* Bioethanol zum Einsatz. Als Rohstoffe für die Herstellung von Bioethanol eignen sich stark zucker- und stärkehaltige *Energiepflanzen* wie Zuckerrüben, Zuckerrohr, Roggen, Weizen, Mais und Kartoffeln. In Deutschland kommen hauptsächlich Getreide und Zuckerrüben zum Einsatz. Wie herkömmlicher Alkohol wird Bioethanol durch alkoholische Gärung aus Zucker mit Hilfe von Mikroorganismen gewonnen und anschließend durch thermische Trennverfahren gereinigt. Bioethanol kann sowohl als Reinkraftstoff (sog. E85) getankt werden oder fossilem Ottokraftstoff in Deutschland bis zu einem Anteil von 10 Prozent (E10) beigemischt werden.

Biokraftstoffe

Aus Biomasse gewonnener Kraftstoff für den Betrieb von Verbrennungsmotoren (z.B. in Fahrzeugen oder Blockheizkraftwerken) oder Heizungen. Zu Biokraftstoffen zählen *Biodiesel*, *Bioethanol*, *Biomethan* (aus Biogas), reine Pflanzenöle, hydrierte Pflanzenöle und die synthetischen Biomass-to-Liquid (BtL)-Kraftstoffe. Biokraftstoffe sind die Alleskönner unter den erneuerbaren Antriebsmöglichkeiten. Sie können im Pkw, Lkw, Bus, im Zug mit Dieselmotor und im Flugzeug eingesetzt werden. Die Gewinnung erfolgt aus Pflanzen oder aus Rest- und Abfallstoffen. Zu den flüssigen Biokraftstoffen für Pkw und Lkw kommt Biogas hinzu, das derzeit aber nur ein Nischenprodukt ist. Außerdem wird Biokraftstoff aus Pflanzenöl von Fluggesellschaften in vereinzelten Projekten im Testbetrieb als Biokerosin verwendet. Vorherrschende Rohstoffe für die Biokraftstoffproduktion sind in Europa *Energiepflanzen* wie Raps für die *Biodiesel*- sowie Getreide und Zuckerrüben für die *Bioethanol*-herstellung. Weitere synthetische Biokraftstoffe (Biomass to liquid, BtL), die beispielsweise über einen Vergasungsschritt gewonnen und danach wieder verflüssigt werden, sind bisher nicht über das Forschungsstadium hinausgekommen.

Biokraftstoffe leisten einen Netto-Beitrag zur Treibhausgasvermeidung. Das bei der Verbrennung von Biomasse freigesetzte CO_2 entspricht der Menge, die die *Energiepflanze* während ihres Wachstums aufgenommen hat. Nachwachsende Biomasse absorbiert wiederum die freigesetzte Menge CO_2 . Es handelt sich somit um einen geschlossenen CO_2 -Kreislauf. Zwar ist Biomasse damit grundsätzlich eine klimaneutrale Energiequelle. Je nach Herkunft, Anbau- und Produktionsverfahren können die Klimabilanzen von Biokraftstoffen jedoch äußerst unterschiedlich ausfallen. Zu berücksichtigen sind z.B. Erträge, Düngemiteleininsatz, Transport, Energieeinsatz für die Biokraftstoffproduktion und der jeweilige Ersatz fossiler Energieträger.

Nachhaltigkeitsstandards, Nachhaltigkeitsverordnung

Um die nachhaltige Gewinnung und Nutzung von flüssiger Biomasse zu gewährleisten, gelten in Deutschland seit 2011 die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) und die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV). Sie legen fest, wie flüssige Biomasse, insbesondere Pflanzenöl wie Palm-, Soja- und Rapsöl bzw. auch *Biomethan* für den Verkehrssektor, hergestellt und verwendet werden muss. Im Interesse des Umwelt-, Klima- und Naturschutzes darf der Anbau der *Energiepflanzen* keine naturschutzfachlich besonders schützenswerten Flächen (z.B. Regenwälder) oder Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand (z.B. Feuchtgebiete, Torfmoore) zerstören, und ihr Einsatz zur Energieversorgung muss zu einer Treibhausgasminderung um mindestens 35 Prozent führen im Vergleich zu fossilen Energieträgern. Auch die sozialen Bedingungen beim Anbau werden berücksichtigt. Diese Nachhaltigkeitsstandards sind in der EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien von 2009 vorgegeben und von den EU-Mitgliedstaaten in nationales Recht umzusetzen.

Biomethan

Methan (CH_4) ist der Hauptbestandteil von Biogas, das aus der Vergärung biogener Stoffe gewonnen wird. Nach der Aufbereitung, bei der die anderen Biogasbestandteile abgeschieden werden, kann es ins bestehende Erdgasnetz eingespeist werden. Es steht damit zum Beispiel für den Einsatz in Blockheizkraftwerken oder als Treibstoff für Fahrzeuge mit Gasmotor zur Verfügung. Das aus Biogas gewonnene Methan bezeichnet man als Biomethan. Es ist mit den Eigenschaften von Erdgas identisch.

CO_2 -Äquivalent

Aggregierter Wert der Masse der Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O), wobei sich der Beitrag von Methan und Lachgas zum Treibhausgaseffekt im Vergleich zum Treibhausgaseffekt von Kohlendioxid ermittelt. So ist eine Einheit Methan etwa 25mal so klimaschädlich wie eine Einheit Kohlendioxid und muss dementsprechend anteilig im aggregierten Wert angerechnet werden.

Degradierte Flächen

Rund 40 Prozent der weltweiten Wald-, Weide- und Ackerflächen sind degradierte Flächen. Diese Flächen entstehen z.B. durch eine nicht nachhaltige Nutzung und Klimawandel. Der Wasser- und Nährstoffhaushalt ist angegriffen. Sie sind anfällig für Erosion und liefern allenfalls unterdurchschnittliche Erträge. Durch ausgelaugte Böden werden die Versorgung mit Nahrungs- und Futtermitteln sowie ganze Ökosysteme gefährdet. Degradierte Flächen können aber durch verschiedene Maßnahmen regeneriert und wieder nutzbar gemacht werden. In den betroffenen Ländern müssen regional angepasste Anbaukonzepte umgesetzt werden, die u.a. den Humusaufbau fördern. An den Standort angepasste *Energiepflanzen* können bei nachhaltiger Anbaupraxis einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Bodenqualität und zur Regenerierung der Flächen leisten.

Elektromobilität

Umfasst alle Fahrzeuge, die mit elektrischem Strom betrieben werden. Im Schienenverkehr dominieren elektrisch angetriebene Fahrzeuge, auch Elektrofahrräder sind Teil der Elektromobilität. Überwiegend wird Elektromobilität aktuell jedoch mit Elektroautos in Zusammenhang gebracht. Im Straßenverkehr erleben Elektroautos eine Renaissance, stehen allerdings noch vor der Einführung in den Massenmarkt. Noch nicht ausreichend leistungsfähige Akkus oder Brennstoffzellen, hohe Preise und fehlende Lade-Infrastruktur gelten noch als Hindernisse. Das neu erwachte Interesse an der Elektromobilität ergibt sich auch durch das mögliche Zusammenspiel von Auto, Stromnetz und Erneuerbaren Energien. Wenn Elektrofahrzeuge mit erneuerbar erzeugtem Strom oder *erneuerbarem Wasserstoff* geladen werden, können sie die klimarelevanten Emissionen des Verkehrs senken und sind aus ökologischer Sicht von Vorteil. Eingebunden in ein intelligentes Stromnetz („Smart Grid“) können Elektrofahrzeuge mit Akkumulatoren perspektivisch eine wichtige Rolle als „mobile Stromspeicher“ spielen, die in einem gewissen Umfang Regelenergie bereitstellen können. Dies kann einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die schwankende Erzeugung von Strom aus Wind und Sonnenenergie auszugleichen und das Stromnetz zu stabilisieren.

Emissionshandel

Der Emissionshandel ist ein marktwirtschaftlich orientiertes Instrument zur Begrenzung des Treibhausgasausstoßes. Die Politik gesteht einer Gruppe von Emittenten, zum Beispiel Kraftwerksbetreibern und Industrieunternehmen, eine bestimmte Menge an Treibhausgasausstoß zu. Für diese Menge werden Emissionszertifikate (CO₂-Zertifikate) ausgegeben, deren Besitz zum Ausstoß einer begrenzten Menge an Kohlendioxid berechtigt. Überschreitet ein Emittent das Kontingent seiner Verschmutzungsrechte, muss er weitere Zertifikate erwerben oder in Emissionsreduktionsmaßnahmen investieren. Auf diese Weise sollen die kostengünstigsten CO₂-Minderungspotenziale erschlossen werden. Zudem sollen die durch den CO₂-Ausstoß entstehenden externen Kosten, wie etwa Umweltschäden, (teilweise) internalisiert und die Volkswirtschaft entlastet werden. Sind die Zertifikatmengen zu groß bzw. die Reduktionsziele zu schwach, kann der Emissionshandel keine Wirkung entfalten.

Energieeffizienz

Allgemein bezeichnet der Begriff Effizienz das Verhältnis vom erzielten Ertrag zur eingesetzten Arbeit, also von Aufwand und Nutzen. Bei der Energieeffizienz geht es um einen möglichst hohen Wirkungsgrad bei der Energieumwandlung bzw. um einen möglichst geringen Energieverbrauch von Gebäuden, Geräten und Maschinen. Die Steigerung der Energieeffizienz bedeutet, dass die gleiche (oder mehr) Leistung mit einem geringeren Energieaufwand bereitgestellt wird.

Energieeinsparung

Umfasst allgemein alle Maßnahmen, die den Energieverbrauch senken. Energieeinsparung ist allerdings nicht mit der Steigerung der *Energieeffizienz* zu verwechseln: Bei der Steigerung der *Energieeffizienz* geht es darum, durch technische Mittel weniger Energie für die gleiche Leistung aufzuwenden. Demgegenüber bezieht sich der Begriff Energieeinsparung meist auf ein geändertes Nutzerverhalten, das den Energieverbrauch reduziert. Im Falle des Autoverkehrs bedeutet Effizienzsteigerung zum Beispiel, dass durch technische Weiterentwicklungen für dieselbe Strecke weniger Energie in Form von Kraftstoff benötigt wird. Energie einsparen lässt sich aber auch durch ein verändertes Nutzerverhalten, zum Beispiel durch die Reduktion der Geschwindigkeit oder den Umstieg auf das Fahrrad.

Energiepflanzen

Energiepflanzen sind Pflanzen, die gezielt für die energetische Nutzung angebaut werden bzw. die eine Nutzung für die Strom-, Wärme- oder Kraftstoffgewinnung grundsätzlich ermöglichen. Kulturpflanzen, die sich besonders gut für die energetische Nutzung eignen, sind in Deutschland z.B. Getreide wie Mais, Weizen, Roggen oder Triticale, neben Gräsern wie Chinaschilf (*Miscanthus*) und Weidelgras. Als Energiepflanzen werden auch Ölsaaten wie z.B. Raps und Sonnenblumen sowie außerhalb Deutschlands Ölpalmen und Soja genutzt. Heimische Energiepflanzen sind außerdem schnellwachsende Hölzer wie Pappeln und Weiden; ferner z.B. Rüben sowie Hanf. Ob eine Kulturpflanze als Energiepflanze genutzt wird, entscheidet sich möglicherweise erst nach der Ernte, da die meisten der in Deutschland angebauten Energiepflanzen gleichzeitig auch als Futtermittel, Nahrungsmittel oder als Rohstoff für die stoffliche Nutzung z.B. in der chemischen Industrie in Frage kommen.

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Das EEG trat am 1. April 2000 in Kraft und garantiert den Betreibern von Erneuerbare-Energien-Anlagen die Abnahme des erzeugten Stroms zu gesetzlich festgelegten, Kosten deckenden Mindestvergütungen. Die Differenz zwischen den Ausgaben gezahlten Vergütungen und den Einnahmen aus der Vermarktung des EEG-Stroms an der Strombörse bezeichnet man als Differenzkosten. Diese Kosten werden über die so genannte EEG-Umlage auf die Stromverbraucher umgelegt. Im Jahr 2012 zahlen die Verbraucher pro Kilowattstunde Strom 3,59 Cent EEG-Umlage, mit Ausnahme einiger privilegierter Industrieunternehmen, die von der Umlage zum größten Teil befreit sind. Durch die gesetzlich garantierten Einspeisevergütungen für den erzeugten Strom aus Erneuerbaren Energien bekommen Anlagenbetreiber und die Erneuerbare-Energien-Industrie eine langfristige Planungs- und Investitionssicherheit. Da keine staatlichen Mittel betroffen sind, handelt es sich nicht – wie oft fälschlicherweise behauptet – um Subventionen. Das EEG hat nicht nur den Klimaschutz und die Entwicklung der Erneuerbaren-Energien-Branche mit einem hohen Exportanteil vorangebracht. Auch das Gesetz selbst ist zum Exportschlag geworden. Weltweit haben bislang (Stand 2012) mehr als 65 Staaten Einspeisetarife als Förderinstrument für Erneuerbaren Energien eingeführt, vielen diente dabei das deutsche EEG Vorbild.

Erneuerbarer Wasserstoff

siehe *synthetisches Methan, Methanisierung*.

Flächenkonkurrenz

Flächenkonkurrenz bezeichnet die Konkurrenz um Flächen durch verschiedene Nutzungsformen. Der Begriff wird vor allem im Zusammenhang mit der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für den Anbau von *Energiepflanzen* an Stelle von Nahrungs- und Futtermitteln verwendet (siehe ausführlicher: Renews Spezial „Anbau von Energiepflanzen“, Juli 2011).

Methanisierung

Methode zur Gewinnung von Methan durch Nutzung von erneuerbar erzeugtem Strom. Die Methanisierung soll in Zukunft die mittel- und langfristige Speicherung von Energie ermöglichen. Wenn mehr Strom regenerativ erzeugt als verbraucht wird oder über das Netz abtransportiert werden kann, wird diese Energie genutzt, um per Elektrolyse Wasser in seine Bestandteile *Wasserstoff* und Sauerstoff zu spalten. Anschließend wird der gewonnene *Wasserstoff* unter Zugabe von Kohlendioxid (CO_2) im sogenannten Sabatier-Prozess in Methan umgewandelt, das herkömmlichem Erdgas entspricht. Dadurch können die Transport- und Speicherkapazitäten des Erdgasnetzes genutzt werden. Bei Bedarf kann das gespeicherte Methan beispielsweise in einem Gasturbinenkraftwerk rückverstromt werden, es kann aber auch in der Wärmeversorgung oder im Verkehr zum Antrieb von Erdgasfahrzeugen zum Einsatz kommen. Das Konzept wird auch als „*Power to Gas*“-Verfahren (*P2G*) bezeichnet.

Motorisierter Individualverkehr (MIV)

Der motorisierte Individualverkehr fasst Automobile und motorisierte Zweiräder zusammen.

Power to Gas (P2G)

siehe *Methanisierung, synthetisches Methan*

Personenkilometer (Pkm)

Der Personenkilometer ist die zentrale Einheit zur Erfassung des Verkehrsaufkommens im Personenverkehr. Sie gibt Auskunft über die spezifische Leistung der Verkehrsmittel. Dafür wird die vom jeweiligen Verkehrsmittel zurückgelegte Strecke mit der Anzahl der von diesem Verkehrsmittel transportierten Personen multipliziert.

Synthetisches Methan

Bei synthetischem bzw. erneuerbarem Methan handelt es sich um ein Gas, das unter anderem mit Hilfe von Strom aus Erneuerbaren Energien hergestellt wird. Im ersten Schritt wird dazu durch Elektrolyse mit Hilfe von erneuerbarem Strom *Wasserstoff* erzeugt. Der *Wasserstoff* kann entweder direkt gespeichert und etwa in einer *Wasserstoff*-Brennstoffzelle verbrannt werden. Durch Zugabe von CO₂ kann er aber auch weiter in Methan umgewandelt werden (*Methanisierung*). Das Konzept ist auch unter dem Begriff „*Power to Gas*“ (P2G) bekannt und eine Möglichkeit für die Langzeitspeicherung von Energie. Es befindet sich allerdings noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Es ist noch keine Wirtschaftlichkeit gegeben.

Tonnenkilometer (tkm)

Der Tonnenkilometer ist die zentrale Einheit zur Erfassung des Verkehrsaufkommens im Güterverkehr. Sie gibt Auskunft über die spezifische Leistung der Verkehrsmittel. Dafür wird die vom jeweiligen Verkehrsmittel zurückgelegte Strecke mit dem Gewicht der transportierten Güter in Tonnen multipliziert.

Wasserstoff

siehe *synthetisches Methan, Methanisierung*.

Quellen

Agentur für Erneuerbare Energien (AEE): Bioenergie im Strommarkt der Zukunft. Renews Spezial 67, August 2013.

AEE: Biokraftstoffe. Rahmenbedingungen, Klima- und Umweltbilanz, Marktentwicklungen. Renews Spezial 54, Februar 2012.

AEE: Strom speichern. Renews Spezial 57, März 2012.

AEE: Zertifizierung von Bioenergie. Wie Nachhaltigkeit in der Praxis funktioniert. Renews Spezial 53, Dezember 2011.

AEE: Erneuerbare Energien 2020. Potenzialatlas Deutschland. Berlin, Januar 2010.

AG Energiebilanzen: Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2011, April 2013.

Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club (ADFC), Landesverband Nordrhein-Westfalen: Pedelecs 2013: Tests und Trends, April 2013.

Allianz pro Schiene: EEG-Reform darf nicht die Bahnreisenden treffen. Hintergrundinformation, 13. November 2013.

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Mineralölstatistik 2012. Wiesbaden, April 2013.

Bundesministerium der Finanzen (BMF): Kraftfahrzeugsteuer für „reine“ Elektrofahrzeuge und ältere Pkw, 31. Oktober 2012.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)/Umweltbundesamt (UBA): Umweltbewusstsein in Deutschland 2012. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin/Dessau-Roßlau, Januar 2013.

BMU: Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Berlin, Juli 2013.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)/ Beratergruppe Verkehr + Umwelt (BVU)/Intraplan Consult (ITP): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. Kurzfassung, München/Freiburg, November 2007.

BMVBS: Wasserstraßen als Verkehrswege, 17. Dezember 2013,

<http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/WS/wasserstrassen-als-verkehrswege.html>.

BMVBS: Liberalisierung des Fernbusverkehrs. 2013, 16. Dezember 2013,

<http://bmvs.de/SharedDocs/DE/Artikel/LA/fernbusse-liberalisierung.html>.

BMVBS: Lkw-Maut. Fragen und Antworten, 28. November 2013,

http://www.bmvbs.de/DE/VerkehrUndMobilitaet/Verkehrspolitik/GueterverkehrUndLogistik/Lkw-Maut/lkw-maut_node.html.

BMVBS: Verkehrsträger Straße – Straßenbau, 22. November 2013,

http://www.bmvbs.de/DE/VerkehrUndMobilitaet/Verkehrstraeger/Strasse/strasse_node.html.

BMVBS: Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS). Energie auf neuen Wegen. Berlin, Juni 2013.

BMVBS: Nationaler Radverkehrswegeplan 2020. Berlin, Oktober 2012.

BMVBS: Fahrradmonitor Deutschland 2011. Berlin, November 2011.

BMVBS: Elektromobilität - Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter. Berlin, Juni 2011.

BMVBS: Flughafenkonzept der Bundesregierung 2009. Berlin, Juni 2010.

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT): Saubere Stadtbustechnologien. Nachrüstlösungen und Neufahrzeuge. Wien, Januar 2010.

Bruinekoel, Evert: Utrecht neemt ecoboot in gebruik. In: De Binnenvaartkrant, 13. April 2012.

Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt (BDB): Geschäftsbericht 2012/2013. Duisburg, April 2013.

Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer (BDO): Wirtschaftsfaktor Bus. Branchendaten Fakten zum Busverkehr in Deutschland, 16. Dezember 2013, <http://www.bdo-online.de/zahlen-fakten/branchendaten>.

CDU/CSU/SPD: Deutschlands Zukunft gestalten. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 18. Legislaturperiode. Berlin, November 2013.

CHIC - Clean Hydrogen in European Cities: <http://chic-project.eu>; <http://www.sauberbus.de>.

Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ): Monitoring Biokraftstoffsektor. Leipzig, Oktober 2012.

Deutsche Energieagentur (Dena)/Total: Verkehr. Energie. Klima. Alles Wichtige auf einen Blick. Berlin, Oktober 2012.

Dena/Verband der Automobilindustrie (VDA): Energieverbrauch und Energieträger im Straßenverkehr bis 2025. Berlin, April 2013.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)/Fraunhofer IWES/Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Stuttgart/Kassel/Teltow, März 2012.

EnergieImpuls OWL: Klimafreundliche Elektromobilität: Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020. Bielefeld, Mai 2010.

Europäische Kommission: Reducing CO₂ emissions from passenger cars, 31. Oktober 2013;
<http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars>.

Europäische Kommission: EU transport in figures. Statistical pocketbook 2013. Luxemburg, September 2013.

Europäische Kommission: Neuer Vorschlag der Kommission zur Verbesserung der Klimabilanz bei der Herstellung von Biokraftstoffen. Pressemitteilung, 12. Oktober 2012.

Europäische Kommission: Flightpath 2050. Europe's Vision for Aviation. Report of the High-Level Group on Aviation Research. Luxemburg, April 2011.

Europäischen Union: Richtlinie 2009/28/EG, 23. April 2009; COM(2012) 595 final, 17. Oktober 2012.

Exeo Consulting: Mobilitätstrends 2013. Bonn, Juli 2013.

Fraunhofer ISI: Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Karlsruhe, September 2013.

Fraunhofer ISI: Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr. Karlsruhe, April 2013.

Hacker, Florian: Renewability II. Entwicklung von Endenergiebedarf und Treibhausgasemissionen im Kontext der nationalen Klimaziele. Vortrag, Berlin, 09. November 2012.

Hupe, Jane: Driving progress through action on aviation and the environment. In: ICAO Journal, Vol. 68, No. 2, März 2013.
International Council on Clean Transportation (ICCT): European Vehicle Market Statistics. Pocketbook 2013. Berlin, Oktober 2013.

Internationale Energie-Agentur (IEA): Global EV Outlook. Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020. Paris, April 2013.

IEA: Technology Roadmap. Biofuels for Transport. Paris, April 2011.

Institut für Energie und Umwelt (IfEU): Aktualisierung Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030. TREMOD, Version 5.3. Heidelberg, September 2012.

Kerkow, Birger: Biomassepotenziale und -technologien für besonders nachhaltige Biokraftstoffe. Vortrag, Berlin, 11. Dezember 2013.

Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): CO₂-Monitoring und Energieeffizienz. Fachartikel. Flensburg, Mai 2013.

KBA: Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2013. Flensburg, Januar 2013.

KBA: Fahrzeugzulassungen. Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen. Flensburg, Januar 2013.

KBA: Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2013. Flensburg, Januar 2013.

KBA: Emissionen und Kraftstoffe. Fachartikel. Flensburg, März 2011.

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST): Analyse der Kosten erneuerbarer Gase. Bochum, Dezember 2013.

Luftfahrt-Bundesamt (LBA): Bestand an Luftfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland, 08. Januar 2013,
http://www.lba.de/DE/Oeffentlichkeitsarbeit/Statistiken/Statistik_Luftfahrzeuge.html?nn=23054.

Lufthansa: Biokraftstoff im Praxistest, 17. Dezember 2013, <http://www.puresky.de>.

Majer, Stefan: Wer profitiert von der THG-Quote? – Kosten und THG-Bilanz unterschiedlicher Biokraftstoffe im Vergleich. Vortrag, Berlin, 11. Dezember 2013.

Müller, Benedikt: Fernbusse mit deutlich mehr Fahrgästen. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ), 19. September 2013.

Neste Oil: NExBTL Renewable Diesel. Product Information, Juni 2012.

Oehler, Andreas: Elektrorad – Energiesparwunder oder Klima-Schwein? In: Fahrrad Zukunft, Oktober 2009.

Öko-Institut: Strombasierte Kraftstoffe im Vergleich. Stand heute und die Langfristperspektive. Working Paper, Freiburg/Darmstadt/Berlin, Oktober 2013.

Öko-Institut/DLR/Fraunhofer ISI: Renewability II. Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Berlin/Darmstadt/Freiburg/Karlsruhe, November 2012.

Öko-Institut/Forschungszentrum Jülich/Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)/Fraunhofer ISI: Politik-szenarien für den Klimaschutz VI. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Freiburg/Dessau-Roßlau, März 2013.

Scania: Scania behält Führungsposition bei alternativen Kraftstoffen. Pressemitteilung, 24. Oktober 2013.

Siemens: Mit dem eHighway in die Zukunft. München, Mai 2012.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Umweltgutachten 2012. Verantwortung in einer begrenzten Welt. Berlin, Juni 2012.

Stadtwerke Augsburg: Erdgasbusse der Stadtwerke Augsburg. Vortrag, 6. ÖPNV-Innovationskongress, Freiburg, 11.-13. März 2013.

Stadtwerke Görlitz: Grüne Traditionen, Pressemitteilung, 18. Juli 2012.

Statistisches Bundesamt: Ausstattung von Privathaushalten 2013 mit Fahrzeugen. Einkommens- und Verbrauchsstichprobe, November 2013; https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/_Grafik/HH_Fahrzeuge.html.

Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 2013 – Transport und Verkehr, Wiesbaden 2013.

Statistisches Bundesamt: Verkehr aktuell. Fachserie 8, Reihe 1.1. Wiesbaden, November 2013.

Statistisches Bundesamt: Verkehr auf einen Blick. Wiesbaden, April 2013.

Heinrici, Timon: Priorisieren und bündeln. In: Deutsche Verkehrszeitung, 27. Oktober 2011.

Umweltbundesamt (UBA): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau-Roßlau, Oktober 2013.

UBA: Emissionen der Treibhausgase nach Sektoren. Dessau-Roßlau, Januar 2013.

UBA: Daten zum Verkehr. Dessau-Roßlau, Oktober 2012.

Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP): Freigaben der Nutzfahrzeughersteller für den Betrieb mit Biodiesel (B100). Berlin, Juni 2010.

UFOP: Erfahrungsbericht Biodiesel in Linienomnibussen. Bonn 2000.

Universität Hannover/Technische Universität Dresden/Technische Universität Clausthal: Machbarkeitsstudie zur Verknüpfung von Bahn- und Energieleitungsinfrastrukturen. Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse und Empfehlungen der Gutachter. Hannover/Dresden/Clausthal, Juni 2012.

VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft: 16. Dezember 2013, <http://www.rubin-nuernberg.de>.

Verkehrsclub Deutschland (VCD): Luftverkehrsteuer - ein Schritt in die richtige Richtung, 16. Dezember 2013, <http://www.vcd.org/luftverkehrsteuer.html>.

VCD: Klimaverträgliche Mobilität, 19. November 2013, <http://www.vcd.org/klimavertraeglich-mobil.html>.

VCD: VCD-Bahntest 2011. Berlin, November 2011.

Verband der Automobilindustrie (VDA): Jahresbericht 2013.

Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik (VDE): Energieoptimaler Bahnverkehr – auf dem Weg zum „1-Liter-Zug“. Pressemitteilung, 17. April 2013.

Verband Deutscher Verkehrsunternehmer (VDV): VDV-Statistik 2011. Köln, August 2012.

Verkehrsrundschau: Ramsauer legt Aktionsplan Güterverkehr und Logistik vor. In: Verkehrsrundschau, 22. Oktober 2010, <http://www.verkehrsrundschau.de/ramsauer-legt-aktionsplan-gueterverkehr-und-logistik-vor-988269.html>.

Wallet, Norbert: Elektrifizierung - Illusion oder die Zukunft des Verkehrs? In: Stuttgarter Zeitung, 01. Juni 2012.

Weinhold, Nicole: Biokerosin für den Flugverkehr. In: Erneuerbare Energien, 16. Dezember 2013; <http://www.erneuerbareenergien.de/biokerosin-fuer-den-flugverkehr/150/482/75563>.

Wolf, Christian: Kommt die U-Bahn aufs Abstellgleis? WDR, 13. August 2013.

World Wide Fund for Nature (WWF)/Öko-Institut/Prognos: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Basel/Berlin, Oktober 2009.

Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR): Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt. Strasbourg, November 2012.

Zweirad-Industrie-Verband (ZIV): E-Bikes weiterhin mit Rückenwind unterwegs. Pressemitteilung, 20. März 2013.

In der Reihe RENEWS Spezial sind bisher erschienen:

Titel der Ausgabe	Nr.	Datum
Eigenverbrauch und regionale Direktvermarktung	70	Feb 14
Zertifizierung von Bioenergie - Wie Nachhaltigkeit in der Praxis funktioniert	69	Feb 14
Biokraftstoffe - Rahmenbedingungen, Klima- und Umweltbilanz, Marktentwicklungen	68	Dez 13
Bioenergie im Strommarkt der Zukunft	67	August 13
Holzenergie - Bedeutung, Potenziale, Herausforderungen	66	April 13
Anbau von Energiepflanzen - Umweltauswirkungen, Nutzungskonkurrenzen und Potenziale	65	April 13
Reststoffe für Bioenergie nutzen - Potenziale, Mobilisierung und Umweltbilanz	64	April 13
Erneuerbare Wärme - Klimafreundlich, wirtschaftlich, technisch ausgereift	63	Jan 13
Planungsrecht & Erneuerbare Energien	62	Dez 12
Bundesländervergleich Erneuerbare Energien 2012	61	Dez 12
Akzeptanz & Bürgerbeteiligung für Erneuerbare Energien	60	Nov 12
Intelligente Verknüpfung von Strom- und Wärmemarkt	59	Nov 12
„Smart Grids“ für die Stromversorgung der Zukunft	58	Juni 12
Strom speichern	57	Feb 12
Akzeptanz Erneuerbarer Energien in der deutschen Bevölkerung	56	März 12
Nachhaltigkeit von Bioenergie und fossilen Energieträgern im Vergleich	55	Jan 12
Biokraftstoffe - Rahmenbedingungen, Klima- und Umweltbilanz, Marktentwicklungen	54	Jan 12
Zertifizierung von Bioenergie - Wie Nachhaltigkeit in der Praxis funktioniert	53	Dez 11
Kosten und Preise für Strom	52	Sept 11
Konflikte und Risiken der Energieversorgung - Erneuerbare Energien als Beitrag zu Ressourcenversorgung und Energiesicherheit	51	Feb 11
Erneuerbare im Netz - Die notwendige Anpassung der Versorgungsinfrastruktur	50	Feb 11
Klima- und Umweltschutz durch Erneuerbare Energien	49	Feb 11
Erneuerbare Energien - Ein Gewinn für den Wirtschaftsstandort Deutschland	48	Jan 11
Erneuerbare Wärme - Klimafreundlich, wirtschaftlich, technisch ausgereift	47	Jan 11
Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien	46	Dez 10
Solarparks - Chancen für die Biodiversität	45	Dez 10
Bundesländervergleich Erneuerbare Energien 2010	44	Nov 10
Holzenergie - Bedeutung, Potenziale, Herausforderungen	43	Okt 10
Erneuerbare Energien - Mehr Unabhängigkeit vom Erdöl	42	Sep 10
20 Jahre Förderung von Strom aus Erneuerbaren Energien in Deutschland - eine Erfolgsgeschichte	41	Sept 10
Kosten und Potenziale von Photovoltaik und solarthermischen Kraftwerken	40	Aug 10
Biokraftstoffe	38	Aug 10
Innovationsentwicklung der Erneuerbaren Energien	37	Juli 10
Daten und Fakten Biokraftstoffe 2009	36	Juli 10
Grundlastkraftwerke und Erneuerbare Energien - ein Systemkonflikt?	35	Juni 10
Anbau von Energiepflanzen	34	Juni 10
Erneuerbare Energien und Elektromobilität	33	Juni 10
Wirtschaftsfaktor Erneuerbare Energien in Deutschland	32	Juni 10
Akzeptanz der Erneuerbaren Energien in der deutschen Bevölkerung	31	Mai 10
Erneuerbare Elektromobilität	30	April 10
Strom speichern	29	April 10

Siehe auch: <http://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/hintergrundpapiere>

**Agentur für Erneuerbare
Energien e.V.**

Invalidenstr. 91

10115 Berlin

Tel.: 030-200535-3

Fax: 030-200535-51

kontakt@unendlich-viel-energie.de

ISSN 2190-3581

www.unendlich-viel-energie.de

