

SW 2 **Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt:**

SW 3 **Strom-Wandlung - Basisdaten für 100%-Szenarien**

SW 4 Untersuchung zu Möglichkeiten und Grenzen der Strom-Wandlung zur Bereitstellung von Antriebsenergie für Elektrofahrzeuge und von Prozesswärme in 100%-Erneuerbare-Energie-Regionen in Deutschland (100prosim); außerdem wird die Wirkung der Umstellung der elektrischen Niedertemperatur-Wärme-Erzeugung auf andere Quellen untersucht.

SW 5 Version: 110303

SW 7 Nur ein Teil der Energie kann in der Form sinnvoll verwendet werden, wie sie ursprünglich produziert wurde.

SW 8 Die bestmögliche Abdeckung des Bedarfs an den verschiedenartigen Energiedienstleistungen - durch einen angemessenen Energiemix und zeitgerechte Bereitstellung - erfordert teilweise die nochmalige Wandlung der ursprünglich produzierten Energie.

SW 9 Zum Teil sind diese Wandlungen mit erheblichen Verlusten verbunden, was sich in einem Wirkungsgrad kleiner 100 Prozent ausdrückt.

SW 11 Am Energieverbrauch im Verkehrsbereich haben die Straßenfahrzeuge gegenüber dem Luftverkehr und der Binnenschifffahrt den mit Abstand größten Anteil, im Jahr 2005 waren es in Deutschland 82,2 Prozent und zusammen mit dem Schienenverkehr 84,9 Prozent [120].

SW 12 Für den Breiteneinsatz im Verkehr an Land bilden Elektrofahrzeuge künftig die einzig erkennbare Alternative zu den heute noch nahezu gänzlich mit Erdöl betriebenen Verkehrs- und Transportmitteln.

SW 13 Mit Biokraftstoffen können Erdölprodukte wegen der begrenzten Potenziale nur in bescheidenem Umfang direkt ersetzt werden. Die Erzeugung von Methan aus elektrolytischem Wasserstoff zur weiteren Versorgung der KFZ-Flotte mit Verbrennungsmotoren erscheint wegen der extrem hohen Wandlungsverluste über die gesamte Kette wenig aussichtsreich.

SW 14 Bis auf den Schienenverkehr und O-Busse gibt es für die Landfahrzeuge heute keine direkte Verbindung zum Stromnetz, auch für die Zukunft sind dazu keine Ansätze zu erkennen.

SW 15 Folglich bleibt die Energiespeicherung zentrales Thema, zwei aussichtsreiche Speicherformen für Elektrofahrzeuge ohne Netzverbindung werden hier behandelt [21].

SW 17 Wegen des Wegfalls fossiler Brennstoffe, aus denen Prozesswärme heute überwiegend erzeugt wird, und weil biogene Brennstoffe als Ersatz nur in sehr beschränktem Umfang verfügbar sein werden, wird künftig vermehrt Strom dafür eingesetzt werden müssen [73].

SW 19 Durch Ersatz der heute mit Strom bereit gestellten Niedertemperaturwärme durch Solar- und Umgebungswärme wird Strom frei für höherwertige Anwendungen wie Elektromobilität und Prozesswärme [94].

SW 21 **1. Elektrofahrzeuge (EF)**

SW 22 Mit Brennstoffzellen und Akkumulatoren sind die beiden aus heutiger Sicht aussichtsreichsten Speicherformen für Elektrofahrzeuge hier vorgesehen:

SW 23 1. Durch Elektrolyse kann energiereiches Wasserstoffgas erzeugt werden, das sich in Tanks speichern und mit **Brennstoffzellen** wieder in Antriebsstrom zurück verwandeln lässt, Hauptvorteil ist die kostengünstige Speicherbarkeit großer Energiemengen.

SW 24 2. Mit **Akkumulatoren** kann elektrische Energie chemisch direkt gespeichert und wieder abgerufen werden, Hauptvorteil ist der vergleichsweise hohe Wandlungs-Wirkungsgrad von Strom zu Strom.

SW 25 Eine parallele Verwendung beider Speicherformen ermöglicht die Optimierung des Gesamtsystems: Während der größere Teil der Verkehrsleistung mit den effizienten Akkumulatoren erbracht wird, kann überschüssiger Strom in Wasserstoff gewandelt und als Reserve für energiearme Phasen bevorratet werden.

SW 27 **1.1. Nutzungs-Umfang EF**

SW 28 Der Nutzungs-Umfang von Elektrofahrzeugen kann durch den Anteil an der Stromerzeugung angegeben werden, der zur Wasserstoff-Erzeugung und zur Ladung der Akkumulatoren jeweils abgezweigt wird.

SW 30 Status

SW 31 Der Status ist unerheblich und mit 0 anzusetzen, da Elektrofahrzeuge im Referenzjahr 2007 noch nicht im Breitereinsatz waren [120].

SW 33 Ziel-Ansatz

SW 34 Bei der Festlegung, wieviel Strom für Elektrofahrzeuge künftig aufgewendet werden soll und welche Anteile die Brennstoffzellen bzw. Akkumulatoren jeweils haben sollten, sind verschiedene Aspekte von Bedeutung:

SW 35 - Um mit Elektrofahrzeugen die selbe Verkehrsleistung wie im Referenzjahr 2007 zu erreichen, ist wegen der gegenüber den Verbrennungsmotoren 4-fach höheren Wirkungsgrade nur ca. 25 Prozent der Energie als Input für die Elektromotore erforderlich [126] (=Deckungsgrad).

SW 36 - Bei Akkumulatoren ist die gegenüber Brennstoffzellen dreifache Effizienz der Wandlungskette vorteilhaft [48]/[44], für die selbe Verkehrsleistung ist nur ein Drittel der Energie erforderlich.

SW 37 - Bei Brennstoffzellen ist die gegenüber Akkumulatoren preiswerte Speicherbarkeit großer Mengen von Wasserstoff vorteilhaft, um beispielsweise Überschussstrom aus Starkwindphasen zur Wasserstoffproduktion für längere Phasen mit schwachem Energieangebot vorzuhalten.

SW 38 - Bei Brennstoffzellen ist außerdem die gegenüber Akkumulatoren schnelle Nachtankbarkeit und die Verfügbarkeit von Abwärme für Heizzwecke vorteilhaft für Langstreckenfahrten.

SW 40 1.2. Effizienz (EF)**SW 41 Brennstoffzellen**

SW 42 Bei der Umwandlung von Strom in Wasserstoff mit Elektrolyse und bei der späteren Rückwandlung in Strom mit Brennstoffzellen im Fahrzeug entstehen erhebliche Verluste.

SW 43 Maßgebliche Größe für das Energieszenario ist der Wirkungsgrad über die gesamte Wandlungskette als Verhältnis von Stromoutput zum Strominput, die verschiedenen Quellenangaben dazu [132], [139], [143] weisen beachtliche Unterschiede auf.

SW 44 Für die Wandlungskette Strom - Wasserstoff - Strom wird, ausgehend von diesem Spektrum, ein Statuswert für den Wirkungsgrad von 22 Prozent angenommen und als Zielansatz ein erreichbarer Wirkungsgrad von 30 Prozent vorgeschlagen.

SW 46 Akkumulatoren

SW 47 Die beim Laden und Entladen der Akkumulatoren, verallgemeinernd häufig als Batterien bezeichnet, entstehenden Verluste bestimmen den Lade-/Entlade-Wirkungsgrad [147]:

SW 48 Konservativ werden jeweils die unteren Werte der angegebenen Spanne vorgeschlagen mit 65 Prozent für die heute im Fahrzeugbereich noch vorherrschenden Bleiakkus und 90 Prozent für die effizienteren Lithium-Ionen-Akkus.

SW 50 1.3. Technologische Perspektiven (EF)**SW 51 Brennstoffzellen**

SW 52 Die Technologien für die verschiedenen Komponenten sind teilweise bereits langjährig erprobt, die Brennstoffzellen-Technik befindet sich allerdings noch im Prototypen-Stadium.

SW 53 Investitionen in Forschung und Entwicklung sind erforderlich zur Steigerung der Wirkungsgrade und für eine Verbesserung von Praxistauglichkeit, Sicherheit und Kosten.

SW 54 Interessant für eine flexible Wahl des jeweils gerade verfügbaren Energieträgers wäre in den Fahrzeugen die Tauschbarkeit von standardisierten Modulen mit Wasserstofftank/Brennstoffzellen und Akkumulatoren.

SW 55 Eine Nutzung der bei der Wasserstoff-Elektrolyse entstehenden Abwärme, beispielsweise durch Einspeisung in Saison-Wärmespeicher für Raumheizung, erscheint möglich und sinnvoll, wurde im Szenario aber nicht quantifiziert.

SW 56 Außerdem könnte die Rückverstromungs-Abwärme von der Brennstoffzelle zur Erwärmung des Fahrzeuginneren genutzt werden.

SW 58 Eine bessere Speicherbarkeit und ein sichererer Umgang mit dem Brennstoff könnte erreicht werden durch Methanisierung - also die Veredelung des Wasserstoffs zu erdgasähnlichem Methan - allerdings um den Preis zusätzlicher Wandlungsverluste.

SW 59 Wirkungsgrade von 85 Prozent sind voraussichtlich möglich [150].

SW 60 Zu klären ist allerdings noch, wieviel von dem dafür erforderlichen CO₂ aus regenerativen Quellen dauerhaft verfügbar gemacht werden könnte, beispielsweise aus der Zementherstellung, dem Kalkbrennen oder Prozessen der Chemischen Industrie.

SW 62 **Akkumulatoren**

SW 63 Im Konsumbereich sind Lithium-Ionen-Akkus seit Jahren in breitem Einsatz.

SW 64 Weiterentwicklungen zielen auf die größeren erforderlichen Speicherkapazitäten, höhere Reichweiten durch Steigerung der Speicherdichte und die Brandsicherheit auch bei Unfällen.

SW 65 Die mit den gegenwärtigen Speicherdichten erzielbaren Reichweiten kommen noch nicht annähernd an die mit einer Tankfüllung Kraftstoff zurückzulegenden Strecken heran.

SW 66 Dazu kommt, dass die Ladezyklen erheblich länger dauern, als die Betankung mit Kraftstoff.

SW 67 Einer der verfolgten Lösungsansätze ist ein dichtes Netz von Schnell-Ladestationen.

SW 68 Wenn Akkumulatoren je nach Energieangebot abwechselnd mit Brennstoffzellen genutzt werden sollen, ist ein anderer Ansatz besonders interessant, bei dem entladene Leihakkumulatoren an Tankstellen durch geladene Akkus komplett getauscht werden. Dies ist in Minutenschnelle machbar und würde wahlweise auch den Einsatz von kompatiblen Modulen mit Wasserstofftank und Brennstoffzelle ermöglichen.

SW 69 Wegen der geringen Entladeverluste fällt kaum Abwärme an, deshalb sind effiziente Konzepte für die Vermeidung friererender Fahrzeuginsassen gefragt.

SW 70 Ein ernstzunehmendes Problem ist in der Begrenztheit der weltweiten Lithiumvorkommen zu sehen, das Metall gehört zu den seltenen Stoffen.

SW 71 Dies wird große Anstrengungen für eine Recyclingquote nahe 100 Prozent und für die Erschließung alternativer Stoffe bzw. Technologien erfordern.

SW 73 **2. Prozesswärme aus Strom (PS)**

SW 74 Prozesswärme aus Brennstoffen mit einem Anteil von 41,2 Prozent an der gesamten Wärmebereitstellung wurde im Jahr 2005 in Haushalten (Kochen, Backen...), in der Industrie (Metallgewinnung, Kunststoffherstellung...), und in Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (Schweißen, Trocknen...) verwendet.[154].

SW 75 Sie unterscheidet sich durch Temperaturen oberhalb 100°C vom Niedertemperatur-Wärmebedarf unterhalb 100°C (Raumwärme, Warmwasserbereitung mit einem Anteil von 58,8 Prozent [154]).

SW 76 Der künftige Energiemix unterliegt einer großen Zahl von Einflüssen und lässt sich heute kaum seriös einschätzen, deshalb wird hier von einem gleichbleibenden Mengenverhältnis zwischen Prozess- und NT-Wärme ausgegangen.

SW 77 Bei Übergang auf vollständig erneuerbare Energien aus heimischen Quellen wird das begrenzte Angebot an Holz und anderen Bioenergien bei weitem nicht ausreichen, um die großen, heute verfeuerten Brennstoffmengen zu ersetzen.

SW 78 Um diese Lücke zu füllen, bietet sich Strom an, der sich mit Wirkungsgraden von annähernd 100 Prozent in Prozesswärme besonders hoher Qualität wandeln lässt.

SW 80 **2.1. Nutzungs-Umfang PS**

SW 81 **Status**

SW 82 Der Status ist mit 0 anzusetzen, da im Referenzjahr definitionsgemäß noch keine Substitution von Brennstoffen durch Strom erfolgt ist.

SW 84 **Ziel-Ansatz**

SW 85 Während im Bereich Niedertemperaturwärme durch verstärkten Wärmeschutz und beim Verkehr durch Umstellung auf Elektroantriebe hohe Effizienzgewinne zu erzielen sind, wird dies beim Strom und bei der Prozesswärme schwieriger sein.

SW 86 Um die Auswirkungen der erforderlichen Energieeinsparung auf die Wirtschafts- und Lebensweise möglichst klein zu halten, wird es also darauf ankommen, vor allem bei Prozesswärme und den herkömmlichen Stromanwendungen möglichst hohe Deckungsgrade zu erzielen.

SW 87 Daher wird empfohlen, nach der Bereitstellung von ausreichend Energie für Niedertemperaturwärme und Verkehr eine Angleichung der Deckungsgrade von Strom und Prozesswärme anzustreben.

SW 89 **2.2. Technologische Perspektiven (PS)**

SW 90 Prozesswärme-Bereitstellung mit Strom ist in den meisten Bereichen Stand der Technik, vorteilhaft wird sich die im Vergleich zu Brennstoffen hervorragende Regelbarkeit, Verlustarmut und Sauberkeit erweisen.

SW 91 Da insgesamt erheblich weniger Energie für Prozesswärme zur Verfügung stehen wird, kommt es sehr auf energieeffiziente Prozesse, sparsam herstellbare und langlebige Produkte und insgesamt die Vermeidung von Verschwendung in jeder Hinsicht an.

SW 92 Günstig für den Ausgleich von Schwankungen im Energieangebot und auch in ökonomischer Hinsicht wäre eine Betriebsführung in Abhängigkeit vom Stromangebot bei solchen Prozessen, die nicht unbedingt auf kontinuierlichen Betrieb angewiesen sind.

SW 94 **3. Elektrische Niedertemperaturwärme (EN)**

SW 95 Der größte Teil von Niedertemperatur-Wärme bis 100°C für Raumwärme und Warmwasser wird heute durch Brennstoffe und etwas Solar-/Umgebungswärme erzeugt (wird hier unter 'NT-Wärme' bilanziert).

SW 96 Zusätzlich wurde im Referenzjahr 2007 in Deutschland aber 12,3 Prozent des verbrauchten Stromes genutzt, um Niedertemperatur-Wärme zu erzeugen [159] (ist implizit in der Bilanz unter 'Strom' enthalten).

SW 97 Es erscheint wenig sinnvoll, NT-Wärme mit Temperaturen unter 100°C auch künftig weiter mit der hochwertigen Energieform Strom zu erzeugen, prädestiniert dafür ist die Nutzung der Solarstrahlung mit Flachkollektoren und der Umgebungswärme mit Erdkollektoren und Wärmepumpen.

SW 98 Aus diesem Grund wird empfohlen, den weitgehenden **Ersatz** der heutigen **elektrischen NT-Wärmebereitstellung** durch Solar- und Umgebungswärme vorzusehen.

SW 99 Vereinfachend wird hier angenommen, dass durch die Substitution keine Veränderungen im Wirkungsgrad der Wärmebereitstellung zu berücksichtigen sind (dargestellt durch vorher und nachher 100 Prozent).

SW 101 Zur Errechnung der Energiemenge, die künftig die Strombilanz entlastet und die Niedertemperatur-wärme belastet, kann nicht einfach vom absoluten Statuswert ausgegangen werden.

SW 102 Da das 100-Prozent-Ziel in der Regel neben dem Ausbau der Erneuerbaren Enerigen auch eine Verminderung des Verbrauchs erfordern wird, kann man annehmen, dass etwa im selben Maß wie der gesamte Stromverbrauch auch der Verbrauch an Niedertemperatur-Wärme vermindert wird.

SW 103 Der nach der erforderlichen Verbrauchsminderung verbleibende Wärmebedarf, der bisher mit Strom gedeckt wurde, lässt sich dann ganz oder teilweise durch Niedertemperaturwärme aus Solarthermie oder Umgebungswärme substituieren [161].

SW 104 Die Substitution schlägt sich in einer Verringerung des Deckungsgrad-Maßstabes für Strom und in einer Erhöhung des Maßstabes für Niedertemperatur-Wärme nieder [163], die Bilanzwerte bleiben dagegen unverändert.

SW 106 **3.1. Nutzungs-Umfang EN**

SW 107 **Status**

SW 108 Als Statuswert für den Nutzanteil Niedertemperaturwärme am gesamten Stromverbrauch wird mit 12,3 Prozent der deutsche Durchschnitt 2007 vorgelegt [96].

SW 110 **Ziel-Ansatz**

SW 111 Ohne Substitutions-Maßnahmen kann davon ausgegangen werden, dass der relative Anteil Niedertemperaturwärme am gesamten konventionellen Stromverbrauch konstant bei 12,3 Prozent bleiben würde.

SW 112 Um aber die hochwertige Energieform Strom für anspruchsvollere Anwendungen frei zu bekommen, kann der Zielwert reduziert werden, für eine optimale Entlastung bis auf 0 Prozent.

SW 114 **2.2. Technologische Aspekte (EN)**

SW 115 Technologisch ist die Umstellung kein Problem.

SW 116 Die praktische Umsetzung stellt allerdings höhere Anforderungen, da beispielsweise die Zapfstellen der heute häufig dezentral angeordneten Warmwasserbereiter durch Rohrleitungen mit dem zentralen Wärmespeicher im Gebäude bzw. im Wohnbezirk verbunden werden müssen.

SW 118 **4. Anhang**

SW 119 [Anhang A: Wertetabelle](#)

SW 120 [Anhang B: Verkehr](#)

SW 121 [Anhang C: Elektrofahrzeuge](#)

SW 122 [Anhang D: Energieverbrauch](#)

SW 124 **5. Endnoten**

SW 126 Wikipedia; "Elektroauto"; Stand 06.07.2010 - als Orientierungswerte verwendet (siehe Anhang C: Elektrofahrzeuge).

<http://de.wikipedia.org/wiki/Elektroauto>

Mittlere Wirkungsgrade von PKW-Verbrennungsmotoren, zusammen mit Getriebe: 23,5 % bei Dieselmot., 14 % bei Benzinmot., bei etwa gleichen Anteilen am Verbrauch (siehe [120]) liegt der Durchschnitt bei etwa 18,75 %.

Elektromotoren liegen im Wirkungsgrad dagegen bei 95 %, wobei aufgrund des nicht erforderlichen Schaltgetriebes weitere Verluste entfallen und die Verluste des elektronischen Fahrreglers durch Gewinne aus der Nutzbremmung mehr als aufgewogen werden; somit würde eine 5,1-fache Effizienz erreicht.

Selbst, wenn man konservativ nur von einer 4-fachen Effizienz gegenüber den heutigen Verbrennungsmotoren ausgeht, würden die Elektromotoren für die Erzielung der heutigen Verkehrsleistung nur 25 % der Energie benötigen.

SW 132 Martin Pehnt, Ulrich Höpfner; "Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien: Analyse der kurz- und mittelfristigen Perspektive"; Kurzgutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); ifeu-Institut; Mai 2009 - Seite 21:

Wirkungsgrade nach dem Technologiestand 2010+.

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ifeu_kurzstudie_elektromobilitaet_wasserstoff.pdf

Fortgeschrittene alkalische Hochdruck-Elektrolyse: 57 bis 64 % (inklusive Speicherung 92% und Transport 95 %), Fahrzeug-Brennstoffzelle inklusive E-Motor und Rekuperator: 38 bis 41 %.

Aus den Angaben von [132] errechneter Wirkungsgrad über die gesamte Kette: 21,66 bis 26,24 %.

Bei verbrauchernaher Erzeugung entfallen die Transportverluste, daraus ergibt sich ein Wirkungsgrad für Elektrolyse und Speicherung von 60 bis 67,4 %.

Bei einem angenommenen Wirkungsgrad für E-Motor und Rekuperator von 90 % ergibt sich für die Brennstoffzelle allein ein Wirkungsgrad von 42,2 bis 45,6 %, für die gesamte Kette Strom - Wasserstoff - Strom 25,3 bis 30,7 %.

SW 139 Dr. Ulf Bossel; "Wasserstoff löst keine Energieprobleme"; erschienen in "Technologiefolgenabschätzung - Theorie und Praxis" No. 1, 15. Jahrgang ; April 2006 - Seite 30.

<http://www.efcf.com/reports/D06.pdf>

56 % Verlust für Wasserstoffelektrolyse an Tankstellen einschließlich Wasseraufbereitung, Kompression, Gebäudeenergiebedarf usw. bezogen auf die Energie des erzeugten Wasserstoffs, dazu kommt ein Wirkungsgrad von 50 % für die Rückverstromung in Brennstoffzellen, zusammen ergibt das für die gesamte Kette Strom - Wasserstoff - Strom einen Wirkungsgrad von 32,1 %.

SW 143 J. Schindler u. a. ; "Wasserstoff und Brennstoffzellen - starke Partner erneuerbarer Energiesysteme"; 2. überarbeitete Auflage 2008; Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband / LBS Ludwig Bölkow Stiftung GmbH - Seite 22.

<http://www.dwv-info.de/publikationen/2008/partner2.pdf>

Künftig erwartete Wirkungsgrade von 35 bis 40 % für Hochdruckelektrolyse und Fahrzeug-Brennstoffzellen über die Wandlungskette Strom - Wasser - Strom.

SW 147 Quelle [132]:

Lade-/Entlade-Wirkungsgrade stationär (die Angaben speziell für Verkehr sind unvollständig, dürften aber auf vergleichbarem Niveau liegen): Bleiakku von 65% bis 79%, Lithium-Ionen-Akku von 90% bis 95%.

SW 150 T. Klaus/C. Vollmer/K. Werner/H. Lehmann/K. Müschen, Umweltbundesamt; "Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen"; Vorabdruck für die Bundespressekonferenz am 7. Juli 2010. [42] - Seite 47 ff:

<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3997.pdf>

eE-Methan-Speichersystem - Wirkungsgrad für die Methanisierung liegt bei 75 bis 85%, durch Rückgewinnung eines Teils der Abwärme ist bereits ein Wirkungsgrad von 82% erreicht worden, mit Upscaling sind voraussichtlich 85% möglich.

- SW 154 BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.; "Endenergieverbrauch in Deutschland 2007"; 12.2008 im Stand vom 28.07.2009.
<http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65>
Endenergie in Mio. t SKE gemäß Tafel 1.2 (siehe Anhang D: Energieverbrauch): Raumwärme 82, Warmwasser 14,5, zusammen 96,5 Niedertemperaturwärme < 100°C; Prozesswärme > 100°C 67,7, insgesamt 164,2 Wärme; davon 58,8 Prozent Niedertemperaturwärme < 100°C und 41,2 Prozent Prozesswärme > 100°C.
Bereits elektrisch erzeugte Prozesswärme ist hier nicht berücksichtigt, da für den Teil keine Substitution erforderlich ist.
- SW 159 Quelle [154]: 64,9 Mio. t. SKE Stromverbrauch Deutschland 2007 (siehe Anhang D: Energieverbrauch, Tafel 1.3), 3,3 Mio. t SKE davon für Raumwärme und 4,7 Mio. t für Warmwasser, ergibt zusammen 8 Mio. t SKE für mit Strom erzeugte Niedertemperaturwärme < 100°C, das sind 12,3 % vom gesamten Stromverbrauch.
- SW 161 Berechnungsansatz in 100prosim: Zur Zielzeit substituierte Energiemenge = Stromverbrauch zur Zielzeit * (Nutzanteil elektr.NT-Wärme Status - Nutzanteil elektr.NT-Wärme Ziel).
- SW 163 Darstellung in 100prosim: In Tabelle EN im untersten Block rechts, Zeile "*%vom heutigen Gesamtbedarf*" sind die als Maßstab dienenden grünen Werte bei Strom, Wärme und NT-Wärme entsprechend der substituierten Energiemenge angepasst, Erläuterung dazu in Fußnote ²). Im Diagramm EV ist die substituierte Energiemenge in den Zielsäulen von Strom und NT-Wärme hellgrau dargestellt.

Anhang A: Wertetabelle

Bedeutung	räumlich	zeitlich	Textbezug	Einheit	Basis/Status	Ziel
Strom-Wandlung - Basisdaten für 100%-Szenarien			SW5	Version:	110303	

1. Elektrofahrzeuge (EF)**Umfang:**

Anteil Strom zur Wasserstoffelektrolyse für Brennstoffzellenfahrzeuge (bezogen auf regenerativ erzeugte Strommenge).	Refreg.	2007	SW31	Prozent	0	
	Zielreg.	Zielzeit	SW34	Prozent		-
Anteil Ladestrom für Akku-betriebene Fahrzeuge (bezogen auf regenerativ erzeugte Strommenge).	Refreg.	2007	SW31	Prozent	0	
	Zielreg.	Zielzeit	SW34	Prozent		-

Wirkungsgrad

Wirkungsgrad Wasserstoffelektrolyse, Druckspeicherung, Brennstoffzelle bei Elektrofahrzeugen.	Refreg.	2007	SW44	MWh/ha/a	22	
	Refreg.	Zielzeit	SW44	MWh/ha/a		30
Wirkungsgrad Ladung und Entladung von Akkumulatoren in Elektrofahrzeugen.	Refreg.	2007	SW48	MWh/ha/a	65	
	Refreg.	Zielzeit	SW48	MWh/ha/a		90

2. Prozesswärme aus Strom (PS)**Umfang:**

Anteil Strom zur Substitution bisher eingesetzter Brennstoffe (bezogen auf regenerativ erzeugte Strommenge).	Refreg.	2007	SW82	Prozent	0	
	Zielreg.	Zielzeit	SW87	Prozent		-

Wirkungsgrad

Wirkungsgrad der Wandlung von Strom in Prozesswärme.	Refreg.	2007	SW78	MWh/ha/a	100	
	Refreg.	Zielzeit	SW78	MWh/ha/a		100

3. Elektrische Niedertemperaturwärme (EN)**Umfang:**

Anteil Strom für Niedertemperatur-Wärme (bezogen auf konvent. Stromverbrauch).	Refreg.	2007	SW108	Prozent	12,3	
	Zielreg.	Zielzeit	SW112	Prozent		-

Wirkungsgrad

Wirkungsgrad der solarthermischen Bereitstellung relativ zur elektrischen Erzeugung.	Refreg.	2007	SW99	MWh/ha/a	100	
	Refreg.	Zielzeit	SW99	MWh/ha/a		100

Anhang B: Verkehr

prognos, öko-Institut; "Endbericht Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken"; im Auftrag des WWF, Langfassung, 15.10.2009

<http://www.slideshare.net/wwfdeutschland/modell-deutschland-endbericht>

Tabelle 4.3-31: Energieverbrauch von PKW und Kombi nach Antriebsarten 2005 in PJ

Tabelle 4.3-33: Energieverbrauch des Straßengüterverkehrs nach Antriebsarten 2005 in PJ

Tabelle 4.3-34: Energieverbrauch des Straßenverkehrs 2005 in PJ

Tabelle 4.3-36: Bestimmungsgründe und Energieverbrauch für den Eisenbahnpersonenverkehr 2005 in PJ

Tabelle 4.3-37: Bestimmungsgründe und Energieverbrauch für den Schienengüterverkehr 2005 in PJ

Tabelle 4.3-38: Energieverbrauch im Schienenverkehr insgesamt 2005 in PJ

Tabelle 4.3-41: Energieverbrauch im Verkehr insgesamt 2005 in PJ

Tabelle Nr.:	4.3-31	4.3-33	(errech.)	4.3-34	4.3-36	4.3-37			4.3-38		4.3-41		(errechn.)	(errechn.)	
	PKW, Kombi	Güterverkehr	sonstige	Straßenverkehr	Nahverkehr	Fernverkehr	Personenverkehr	Gütertransp.	örtliche Leistung.	Güterverkehr	Schienenverkehr	Binnenschiff.	Luftverk.	Verkehr gesamt**	Anteile von Gesamt %
Benzin, ohne Hybrid	1062	13,8	-50,8*	1025										1025	39,1
Benzin, Hybrid	0		0											0	0,0
Dieselantrieb	457	660,6	6,4	1124	12,1	0,6	12,7	4,7	1,5	6,2	18,9	13		1168,6	44,6
Erdgasantrieb	1	0,5	0,5	2										2	0,1
Flüssiggasantrieb	1	0,1	0,9	2										2	0,1
Elektroantrieb	0	0	0	0										0	0,0
Brennstoffzellenantrieb	0	0	0	0										0	0,0
Netzstrom					15,3	8,6	23,9	11,8	16,1	27,9	51,8			75,7	2,9
Flugtreibstoffe													345	345	13,2
Gesamt Energieverbrauch	1521	675	7,8	2153	27,4	9,2	36,6	16,5	17,6	34,1	70,7	13	345	2618,3	100,0
Anteile in % von Gesamt:	58,1	25,8	0,3	82,2	1,0	0,4	1,4	0,6	0,7	1,3	2,7	0,5	13,2	100,0	

*Eine der Zahlen PKW/Kombi oder Straßenverkehr muss falsch sein.

**Die Summenwerte in Tabelle 4.3-41 weichen teilweise von den rechnerischen Werten ab, wegen Konsistenz werden letztere angesetzt.

Anhang C: Elektrofahrzeuge

Wikipedia; "Elektroauto"; Recherche am 06.07.2010

<http://de.wikipedia.org/wiki/Elektroauto>

Treibstoff	Energiedichte [kWh/kg]	Antriebskomponente	mittlerer Wirkungsgrad	Gesamtmasse des Energiespeichers in kg für 100 kWh nutzbare Energie
Strom aus Bleiakкумуляtor	0,03	Elektromotor	95 %	2700
		mit Nutzbremse	bis zu 97 %	
Strom aus Lithium-Ionen-Akkumulator	0,13	Elektromotor	95 %	623
		mit Nutzbremse	bis zu 97 %	
Dieselkraftstoff	11,8	Dieselmotor	25 %	36 (+50 Tankbehälter)
		mit Getriebe	23,5 %	
Superbenzin	12	Ottomotor	15 %	59 (+50 Tankbehälter)
		mit Getriebe	14 %	
Flüssiger Wasserstoff	33,3	Wasserstoffspeicherung		8,3 (+600 Tanksystem (schwerer „Tank“))
		Brennstoffzelle PAFC	38 %	
		Elektromotor	95 %	

Anhang D: Energieverbrauch

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.; "Endenergieverbrauch in Deutschland 2007";
12.2008 im Stand vom 28.07.2009.

<http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65>

Anhang: Tafel 1.2

Fassung 26.09.2008

Struktur des Endenergieverbrauchs 2007 (bereinigt)

	Raum-	Warm-	sonst.	WÄRME	MECHAN.	BELEUCH-	E E V
	wärme	wasser	Pr.wärme	gesamt	ENERGIE	TUNG	gesamt
in Mio t SKE							
Haushalte	56,4	9,5	4,2	70,1	7,6	1,4	79,1
G H D	18,4	4,2	8,6	31,2	12,2	3,9	47,3
Industrie	6,8	0,8	54,9	62,5	19,4	1,4	83,3
Verkehr	0,4	0	0	0,4	87,8	0,4	88,6
GESAMT	82	14,5	67,7	164,2	127	7,1	298,4

Anhang: Tafel 1.3

Fassung 26.09.2008

Struktur des Stromverbrauchs 2007

	Raum-	Warm-	sonst.	WÄRME	MECHAN.	BELEUCH-	STROM
	wärme	wasser	Pr.wärme	gesamt	ENERGIE	TUNG	gesamt
in Mio t SKE							
Haushalte	2,1	2,9	3,4	8,4	7,5	1,4	17,3
G H D	1	1,7	2,5	5,2	8,8	3,8	17,8
Industrie	0,1	0,1	7,2	7,4	19	1,4	27,8
Verkehr	0,1	0	0	0,1	1,8	0,1	2
GESAMT	3,3	4,7	13,1	21,1	37,1	6,7	64,9