

Kurzstudie:

Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2014 sowie Aus- blicke auf 2015 und 2020

**Bericht für die Fachgemeinschaft für
effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA)**

vorgelegt von

Uwe R. Fritsche

Hans-Werner Greß

Wissenschaftliche Leitung:

Uwe R. Fritsche uf@iinas.org

Kaufmännische Leitung:

Thomas Stetz ts@iinas.org

Büro Darmstadt:

Heidelberger Straße 129 ½
64285 Darmstadt

t (06151) 850-6077

f (06151) 850-6080

Büro Berlin:

Marienstr.19-20
10117 Berlin

t (030) 28482-190

info@iinas.org

Wissenschaftlicher Beirat:

Joseph Alcamo, CESR (DE)
Suani Coelho, CENBIO (BR)
Teresa Pinto Correia, ICAAM (PT)
Maria Curt, UPM (ES)
Marina Fischer-Kowalski, IFF (AT)
Bundit Fungtammasan, JGSEE KMUTT (TH)
Alan Hecht, EPA (US)
Eva Heiskanen, NCRC (FI)
Alois Heißenhuber, TU München (DE)
Edgar Hertwich, NTNU (NO)
Jorge Hilbert, INTA (AR)
Tetsunari Iada, ISEP (JP)
Thomas B. Johansson, Lund Univ. (SE)
Lev Nedorezov, INENKO RAS (RU)
Martina Schäfer, ZTG TU Berlin (DE)
Udo Simonis, WZB (DE)
Ralph Sims, Massey University (NZ)
Leena Srivastara, TERI (IN)
Helen Watson, UKZN (ZA)
Sir Robert Watson, Tyndall Centre (UK)

Bankverbindung

Volksbank eG Darmstadt
IBAN DE5450890000055548609
BIC GENODEF1VBD

Handelsregister

HRB 90827
Amtsgericht Darmstadt

USt.-ID gem. § 27a UStG

DE 282876833

www.iinas.org

Darmstadt, September 2015

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	ii
Tabellenverzeichnis.....	ii
Abkürzungsverzeichnis.....	iii
1 Einführung	1
2 Recherche der Basisdaten	1
3 Bilanzierung des KEV und der THG-Emissionen.....	3
4 Ergebnisdiskussion und Ausblick	4
4.1 Ergebnisdiskussion für 2010-2014	4
4.2 Ausblick auf 2015 bis 2020.....	4
4.3 Sensitivität der Ergebnisse	7
Literatur	8
Anhang: Methodische Hinweise zur Bilanzierung.....	A-1
A-1 Systemgrenzen der Bilanzierung.....	A-1
A-2 Anwendungsbereich („scope“)	A-2
A-3 Allokation.....	A-3
A-4 KEV und KEA	A-3
A-5 Komponenten des KEV.....	A-4
A-6 KEV- und THG-Bilanzierung und Stromkennzeichnung.....	A-4

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	KEV und THG-Emissionen von Strom bei Abgabe aus dem lokalen Netz für 2010 - 2020.....	5
Bild 2	KEV und THG-Emissionen von Strom bei Abgabe aus dem Kraftwerkspark (ohne Netz- und Verteilverluste) für 2010 - 2020	6

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Entwicklung der deutschen Brutto-Stromerzeugung 2010-2014 und Ausblick auf 2015 und 2020.....	2
Tabelle 2	KEV und THG-Emissionen von Strom in 2010-2014	3
Tabelle 3	KEV und THG-Emissionen von Strom für 2015 und 2020	4
Tabelle 4	KEV und THG-Emissionen von Stromerzeugungsoptionen in 2020	7

Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AKW	Atomkraftwerk
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Block-Heizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt (jetzt: BMUB)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EC	European Commission
EEG	Erneuerbares-Energien-Gesetz
EU	Europäische Union
GEMIS	Globales Emissions-Modell integrierter Systeme
GuD	Gas- und Dampfturbine (Kombi-Kraftwerk)
HEA	Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V.
HKW	Heizkraftwerk
IEA	Internationale Energie-Agentur
IINAS	Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien
IWES	Fraunhofer-Institut für Windenergie-Systeme
KEV	kumulierter Energie-Verbrauch
KEV _{NE}	nichtererneuerbarer kumulierter Energie-Verbrauch
KEV _{RE}	erneuerbarer (regenerativer) kumulierter Energie-Verbrauch
KW	Kraftwerk
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MW	MegaWatt
ORC	Organic Rankine Cycle
PV	Photovoltaik
RE	Regenerative (erneuerbare) Energien
SK	Deutscher Steinkohle-Verband
THG	Treibhausgase
UN	United Nations (Vereinte Nationen)

1 Einführung

Die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA) beauftragte IINAS mit einer Kurzstudie zu Daten über den kumulierten Energieverbrauch (KEV) des Mix zur Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2014 sowie einem Ausblick für die Jahre 2015 und 2020 (Szenarien). Parallel wurden jeweils auch die Emissionen an Treibhausgasen (THG) ermittelt. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse dieser Kurzstudie zusammen und aktualisiert Ergebnisse vorheriger Arbeiten¹.

Die Bilanzierungen erfolgten mit dem Computermodell GEMIS Version 4.9, das kostenlos erhältlich ist und alle Basisdaten enthält². GEMIS ermittelt auf Grundlage von Lebenswegdaten für Energie-, Stoff- und Transportsysteme die Umwelteffekte unter Einbeziehung vorgelagerter Prozessketten im In- und Ausland sowie Herstellungsaufwände für die Prozesse.

Alle Kenndaten, mit denen in diesem Papier gerechnet wurde, stehen in GEMIS für alle Nutzer vollständig transparent zur Verfügung. Damit können auch hier nicht dargestellte Umwelteffekte und Ressourcennutzungen sowie Kosten- und Beschäftigungseffekte eigenständig bilanziert und Detailanalysen zu den hier vorgestellten Ergebnissen durchgeführt werden.

2 Recherche der Basisdaten

Als Grundlage der Arbeiten wurden die zur Bilanzierung des nichterneuerbaren Energieverbrauchs notwendigen Basisdaten zum deutschen nationalen Stromerzeugungsmix des Jahres 2014 auf Basis von Statistiken recherchiert und Anteile der Kraftwerkstypen (nach Brennstoffen), die Entwicklung der Nutzungsgrade sowie der Vorketten ermittelt.

Wie in früheren Berechnungen (IINAS 2012-2014) wurden dabei aktualisierte statistische Grundlagen verwendet, die daraus resultierenden Stromerzeugungsmixe der letzten Jahre zeigt die folgende Tabelle.

¹ Siehe dazu IINAS (2014) für die Werte des Jahres 2013 und korrigierten Daten für 2010-2012.

² GEMIS = Globales Emissions-Modell integrierter Systeme; Bezug über www.gemis.de

Tabelle 1 Entwicklung der deutschen Brutto-Stromerzeugung 2010-2014 und Ausblick auf 2015 und 2020

Erzeugung [TWh]	statistische Daten					Szenario-Daten	
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020
AKW	140,6	108,0	99,5	97,3	97,1	92,3	75,6
Braunkohle	145	150,1	160,7	160,9	155,8	141,5	78,7
Steinkohle	117,4	112,4	116,4	121,7	109,0	104,6	72,6
Erdgas	83,7	86,1	76,4	67,5	58,3	83,0	105,9
Öl	8,1	7,2	7,6	7,2	6,0	5,2	4,5
Wasserkraft	20,6	17,7	21,8	23,0	20,5	20,9	21,2
Windkraft onshore	37,6	48,3	49,9	50,8	54,7	55,4	99,8
Windkraft offshore	0,2	0,6	0,7	0,9	1,3	12,3	30,3
Solar-PV	12	19,6	26,4	31,0	34,9	36,9	43,1
Geothermie	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,3	1,2
Biomasse	28,4	32,8	39,7	41,2	43,0	39,2	54,1
Hausmüll*	4,7	4,8	5,0	5,4	6,1	5,4	3,8
andere**	21,4	19,7	20,1	20,4	21,5	18,1	14,3
Summe o. Pumpstrom	620	607	624	627	608	615	605

*= biogener Anteil; **= inkl. Gicht-/Kokereigas, nicht-biogener Hausmüll

Quelle: AGEB (2015) und BMWi (2015a+b) für 2010-2014; für 2015 und 2020: enervis (2015) und Nitsch (2015) sowie eigene Abschätzung von IINAS

Die Struktur der Stromerzeugung in GEMIS hat eine **höhere Auflösung** als in Tabelle 1 dargestellt, da GEMIS für Stromerzeugungsprozesse die verschiedenen Brennstoffeinsätze (z.B. ost- und westdeutsche Braunkohle, inländische und importierte Steinkohle) bzw. Technologietypen (z.B. Gasturbinen- und GuD-Kraftwerke) abbildet und für die Brennstoff-Vorketten (Lebenswege) auch Energieträger**importmixe** berücksichtigt.

Daher wurden die Daten aus Tabelle 1 auf Grundlage von Sekundärstatistiken³ auf die zur Definition der Stromerzeugung detaillierteren Zuordnungen zu Kraftwerkstypen in GEMIS umgerechnet.

Ergänzend wurden **Projektionen zur Stromerzeugung** in 2015 und 2020 entwickelt, die absehbare Entwicklungen durch das EEG 2014 für Biomasse, Solar-

³ Vgl. BAFA (2015) und SK (2015)

und Windstrom einbeziehen sowie ab **2015 ein Steigen der CO₂-Zertifikatspreise** im EU-Emissionshandelssystem annehmen.

Entsprechend ist einerseits der Zuwachs bei Wind, PV und Biomasse gegenüber früheren Szenarien gebremst, andererseits verlieren Braun- und Steinkohle gegenüber 2010-2014 leicht Erzeugungsanteile zu Gunsten von Erdgas.

Diese Szenarien beruhen zwar weiterhin grundsätzlich auf der BMU-Leitstudie (DLR, IWES, IfnE 2012), ändern allerdings einige Daten auf Basis von enervis (2015) und Nitsch (2015): es wurde für 2020 auf RE-Importe verzichtet und RE-Anteile aktualisiert.

3 Bilanzierung des KEV und der THG-Emissionen

Die recherchierten Daten wurden in das Computermodell GEMIS (Version 4.9) eingegeben und die Lebenswege der Stromerzeugung für das Jahr 2013 aktualisiert sowie für 2014 neu bilanziert. Die Ergebnisse für die **durchschnittliche kWh Strombereitstellung** aus dem lokalen Netz sowie aus dem **Kraftwerkspark** (d.h. ohne Netz- und Verteilverluste) zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 2 KEV und THG-Emissionen von Strom in 2010-2014

Strom aus	kumulierter Energieverbrauch (KEV) in kWh _{primär} /kWh _{el}		THG-Emissionen in g/kWh _{el}	
	nichterneuerbar	gesamt	CO ₂ Äq	CO ₂
Stromnetz-lokal 2010	2,35	2,76	606	576
Stromnetz-lokal 2011	2,22	2,70	617	584
Stromnetz-lokal 2012	2,16	2,68	621	589
Stromnetz-lokal 2013	2,12	2,67	617	585
Stromnetz-lokal 2014	2,07	2,66	598	568
Strom-KW-Park mix 2010	2,28	2,68	588	558
Strom-KW-Park mix 2011	2,16	2,62	598	566
Strom-KW-Park mix 2012	2,09	2,60	602	571
Strom-KW-Park mix 2013	2,06	2,59	598	568
Strom-KW-Park mix 2014	2,00	2,58	580	551

Quelle: eigene Berechnung mit GEMIS 4.9

Die **aktualisierten** Daten für 2013 führen zu gleichen KEV- und THG-Werten wie die früher publizierten Werte, nur bei CO₂ gibt es eine minimale Reduktion.

Die neuen Werte für 2014 zeigen, dass sich die Tendenz zur Senkung von KEV- und THG-Werten **fortsetzt**.

4 Ergebnisdiskussion und Ausblick

4.1 Ergebnisdiskussion für 2010-2013

Gegenüber den Daten von 2010-2013 zeigt sich, dass die ermittelten Daten zum **nichtererneuerbaren KEV** (KEV_{NE}) von Strom aus dem bundesdeutschen **Kraftwerkspark** (erzeugerseitig) in 2014 mit $2,00 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ leicht niedriger sind als für 2013 und deutlich unter den Werten der Jahre davor (vgl. Tabelle 2).

Für die Abgabe aus dem **lokalen Stromnetz** (verbraucherseitig) sind die Werte für den KEV_{NE} des Jahres 2014 von $2,07 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ gegenüber 2013 und den Vorjahren ebenfalls gesunken.

Die geringeren Werte für 2014 gegenüber 2013 und den Vorjahren ergeben sich durch steigende Anteile **erneuerbarer** Stromerzeugung, deren KEV_{NE} **erheblich unter** dem der fossilen und nuklearen Stromerzeugung liegt (vgl. Tabelle 4 in Kapitel 4.3), sowie dem gesunkenen Anteil an Strom aus AKW (vgl. Tabelle 1), der vergleichsweise hohe spezifische KEV_{NE} -Werte aufweist.

Bei den THG-Emissionen ergibt sich ein ähnliches Bild: Seit 2013 sinken die Emissionen und liegen in 2014 unter dem Niveau von 2010 (siehe Tabelle 2).

4.2 Ausblick auf 2015 bis 2020

Nach 2014 wird sich die Umstrukturierung des deutschen Kraftwerksparks in Richtung höherer Anteile erneuerbarer Energien fortsetzen, so dass auch **künftig** von **weiter sinkenden** nichterneuerbaren KEV-Werten der Strombereitstellung auszugehen ist.

Die Ergebnisse der Szenarien für 2015 und 2020 zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 3 KEV und THG-Emissionen von Strom für 2015 und 2020

Strom aus	kumulierter Energieverbrauch (KEV) in $\text{kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$		THG-Emissionen in $\text{g}/\text{kWh}_{\text{el}}$	
	nichtererneuerbar	gesamt	$\text{CO}_2\text{Äq}$	CO_2
Stromnetz-lokal 2015	1,98	2,56	558	530
Stromnetz-lokal 2020	1,54	2,30	398	375
Strom-KW-Park mix 2015	1,92	2,48	540	514
Strom-KW-Park mix 2020	1,49	2,23	386	363

Quelle: eigene Berechnung mit GEMIS 4.9

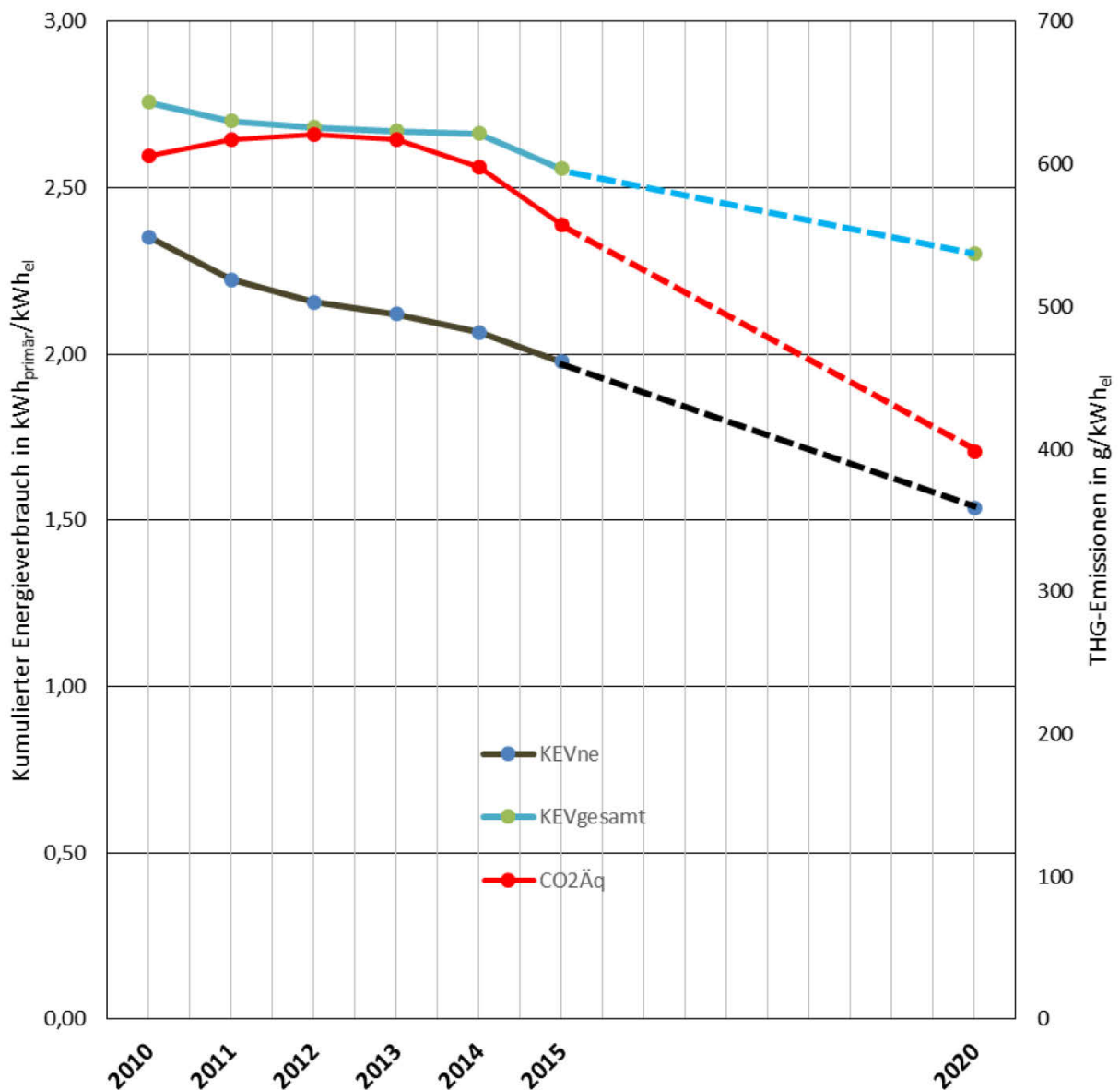
Auf Basis des Szenarios für das **Jahr 2015** ergeben sich erzeugungsseitig ein KEV_{NE} von $1,92 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ und $540 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$ bzw. verbraucherseitig $1,98 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ sowie $558 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$.

Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2014 sowie Ausblicke auf 2015 und 2020

Erzeugerseitig ergibt sich **für 2020** ein KEV_{NE} von $1,49 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ und THG-Emissionen von $386 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$. Verbraucherseitig ergeben sich ein KEV_{NE} von $1,54 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ und $398 \text{ g CO}_2\text{Äq}/\text{kWh}_{\text{el}}$.

Diese Werte liegen gegenüber der früheren Schätzung (IINAS 2014) **für 2015 leicht höher**, da in der vorliegenden Projektion ein weniger starker Anstieg des Erdgasanteils für 2015 unterstellt wurde, was aufgrund der aktuellen energie-wirtschaftlichen Dynamik gerechtfertigt ist. Die vorliegende Projektion **für 2020 führt zu leicht niedrigeren** Werten als die frühere in IINAS (2014). Den aktualisierten Gesamtverlauf von 2010-2020 zeigen die folgenden Abbildungen.

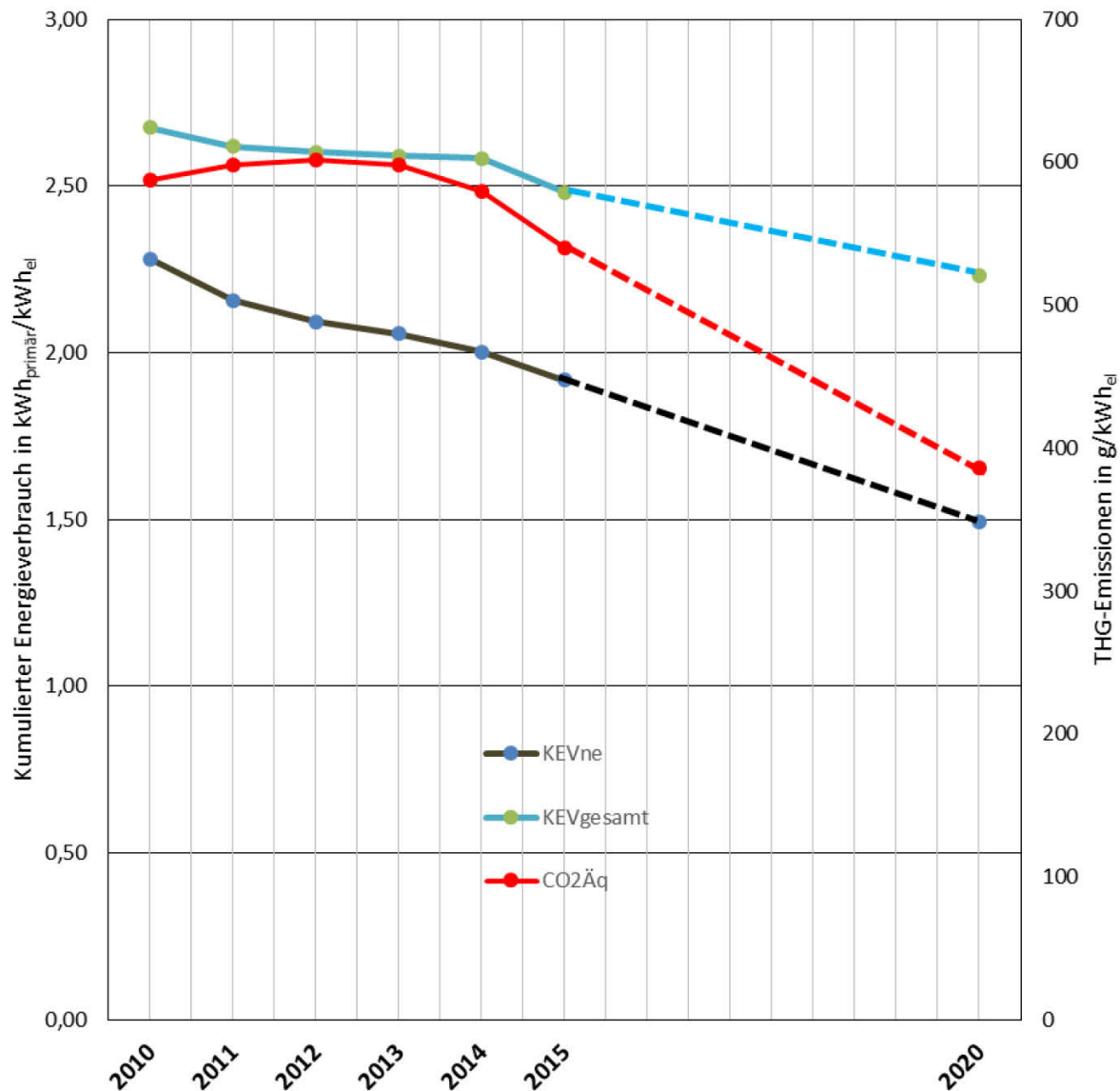
Bild 1 KEV und THG-Emissionen von Strom bei Abgabe aus dem lokalen Netz für 2010 - 2020



Quelle: eigene Berechnung mit GEMIS 4.9; gestrichelte Linien = interpolierte Daten

Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2014 sowie Ausblicke auf 2015 und 2020

Bild 2 KEV und THG-Emissionen von Strom bei Abgabe aus dem Kraftwerkspark (ohne Netz- und Verteilverluste) für 2010 - 2020



Quelle: eigene Berechnung mit GEMIS 4.9; gestrichelte Linien = interpolierte Daten

Der Gesamttrend zu geringeren KEV-Werten seit 2010 ist deutlich sichtbar und wird sich entsprechend der hier entwickelten Szenarien auch von 2015 bis 2020 fortsetzen. In der Projektion für 2020 wird ein KEV_{NE} von 1,49 kWh_{primär}/kWh_{el} (erzeugerseitig) bzw. 1,54 kWh_{primär}/kWh_{el} (verbraucherseitig) erreicht.

Bei den THG-Emissionen wurde der von 2010-2012 erfolgte Anstieg im Jahr 2013 gestoppt, auch in 2014 sanken die Emissionen gegenüber den Vorjahren.

In den Projektionen für 2015 und 2020 werden die THG-Emissionen weiter sinken und bis 2020 erzeuger- und verbraucherseitig Werte unter 400 g CO₂Äq/kWh_{el} erreichen.

4.3 Sensitivität der Ergebnisse

Die o.g. Ergebnisse sind abhängig vom gewählten Kraftwerkspark – und da die Projektionen für 2015 und 2020 Szenarien sind, ist nicht nur die Wahl der erneuerbaren Stromerzeugungsanteile relevant, sondern auch die Anteile von Braun- und Steinkohle sowie Erdgas.

Dies gilt insbesondere für die THG-Emissionen, während der KEV_{NE} bei den fossilen Kraftwerken in einem **relativ engen Fenster** von 1,9 (Erdgas) bis 2,3 (Braunkohle) $kWh_{primär}/kWh_{el}$ liegt, wie die folgende Tabelle für Stromerzeugungsoptionen in Deutschland im Jahr 2020 zeigt.

Tabelle 4 KEV und THG-Emissionen von Stromerzeugungsoptionen in 2020

Strom aus	kumulierter Energieverbrauch (KEV) in $kWh_{primär}/kWh_{el}$		THG-Emissionen in g/kWh_{el}	
	nichtererneuerbar	gesamt	CO ₂ Äq	CO ₂
Stromnetz-lokal	1,54	2,30	398	375
Strom-KW-Park mix	1,49	2,23	386	363
Steinkohle-Kraftwerk (heimisch)	2,22	2,22	839	748
Import-Steinkohle-Kraftwerk	2,16	2,17	785	742
Braunkohle-Kraftwerk	2,29	2,29	962	954
Erdgas-GuD-Kraftwerk	1,86	1,86	390	366
Erdgas-GuD-HKW 100 MW	1,77	1,77	373	349
Atomkraftwerk (AKW)	3,27	3,29	55	53
Wind Park onshore	0,03	1,03	10	9
Wind Park offshore	0,02	1,02	5	5
Solar-PV (polykristallin)	0,33	1,39	93	81
Geothermie (ORC)	0,24	1,35	66	62
Biogas-Gülle-BHKW	0,10	2,64	42	27
Biogas-Mais-BHKW	0,21	2,77	177	54

Quelle: eigene Berechnung mit GEMIS 4.9

Der KEV_{NE} von Atomstrom **dominiert** dagegen mit fast $3,3 kWh_{primär}/kWh_{el}$, während Erneuerbare um **eine Größenordnung niedrigere** Werte aufweisen.

Für die Entwicklung des KEV_{NE} des Stromerzeugungsmixes sind daher weniger die Anteile von Kohle und Gas ergebnisrelevant als vielmehr die von AKW (erhöhender Effekt) und Erneuerbaren (senkender Effekt). Die AKW-Anteile sind aufgrund des gesetzlich geregelten Ausstiegs gut ableitbar und die Erzeugung durch Erneuerbare ist zumindest tendenziell ansteigend. Die 2020-Daten für den KEV_{NE} des **Strommixes** sind daher **als robust** anzusehen.

Bei den THG-Emissionen sind dagegen alle Erzeugungsanteile ergebnisrelevant.

Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2014 sowie Ausblicke auf 2015 und 2020

Literatur

- AGEB (2015): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2014. Berlin http://www.ag-energie-bilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_jahresbericht2014.pdf
- BAFA (2015): Entwicklung der Erdgaseinfuhr in die Bundesrepublik Deutschland Bilanzen 1960-2014. Eschborn http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erdgas/ausgewaehlte_statistiken/egashist_xls.xls
- BMWi (2015a): Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung. Berlin <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html>
- BMWi (2015b): Erneuerbare Energien im Jahr 2014. Berlin <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/A/agee-stat-bericht-ee-2013,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- DLR, IWES & IfnE (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Nitsch, Joachim et al. i.A. des BMU. Stuttgart, Kassel, Teltow http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf
- Ecofys (2014): Primary Energy Demand of Renewable Energy Carriers Part 2 Policy Implications. Surmeli-Anac N et al. Commissioned by the European Copper Institute. Utrecht http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/documents-and-links/ecofys_buide14268_pef_20140509_final.pdf
- enervis (2015): Ein Kraftwerkspark im Einklang mit den Klimazielen. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Berlin <http://www.agora-energiewende.de/service/publikationen/publikation/pub-action/show/pub-title/ein-kraftwerkspark-im-einklang-mit-den-klimazielen/>
- EN ISO 14041: Umweltmanagement Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz, Deutsche Fassung prEN ISO 14041:1997.
- Fritsche, Uwe u.a. (1999): KEA: mehr als eine Zahl - Basisdaten und Methoden zum Kumulierten Energieaufwand (KEA). Ergebnisse des F&E-Vorhabens "Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und Öko-Audits". Öko-Institut, IREB, IFIB, DIW, ISI. i.A. des UBA. Darmstadt usw. http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/1999_g3-kea-brosch.pdf
- Fritsche, Uwe u.a. (2003): Anwendung und Kommunikation des Kumulierten Energieverbrauchs (KEV) als praktikabler umweltbezogener Bewertungs- und Entscheidungsindikator für energieintensive Produkte und Dienstleistungen. FfE, Ecofys, IFEU, ÖKO & TH Karlsruhe Endbericht zum F&E-Vorhaben i.A. des UBA. München usw. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2779.pdf>
- Fritsche, Uwe & Rausch, Lothar (2008): Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Endbericht zum F&E-Vorhaben FKZ 360 16 008 des Öko-Instituts i.A. des UBA. Darmstadt <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3476.pdf>
- Fritsche, Uwe & Rausch, Lothar (2009): Life Cycle Analysis of GHG and Air Pollutant Emissions from Renewable and Conventional Electricity, Heating, and Transport Fuel Options in

- the EU until 2030. Oeko-Institut. ETC/ACC Technical Paper 2009/18. Darmstadt
[http://acm.eionet.europa.eu/reports/docs//ETCACC TP 2009 18 LCA GHG AE 2013-2030.pdf](http://acm.eionet.europa.eu/reports/docs//ETCACC_TP_2009_18_LCA_GHG_AE_2013-2030.pdf)
- Fritsche, Uwe & Rausch, Lothar (2010): GEMIS-Emissionsfaktoren für Treibhausgase und KWK-Zurechnung. Öko-Institut. Kurzpapier für die Landeshauptstadt München. Darmstadt
http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2010_GEMIS_EF_KWK-LHM.pdf
- IINAS (2012): Der nichterneuerbare Primärenergieverbrauch des nationalen Strommix in Deutschland im Jahr 2011. Fritsche, Uwe R. & Greß, Hans-Werner. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Darmstadt
[http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2012_KEV-Strom-2011_\(HEA\).pdf](http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2012_KEV-Strom-2011_(HEA).pdf)
- IINAS (2013): Der nichterneuerbare Primärenergieverbrauch des nationalen Strommix in Deutschland im Jahr 2012. Fritsche, Uwe R. & Greß, Hans-Werner. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Darmstadt
http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2013_KEV-Strom-2012_HEA.pdf
- IINAS (2014): Der nichterneuerbare Primärenergieverbrauch des nationalen Strommix in Deutschland im Jahr 2013. Fritsche, Uwe R. & Greß, Hans-Werner. Kurzstudie für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Darmstadt
http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/IINAS_2014_KEV-Strom-2013_HEA.pdf
- IINAS (2015): Development of the Primary Energy Factor of Electricity Generation in the EU-28 from 2010-2013. Fritsche, Uwe R. & Gress, Hans-Werner. Prepared for EHPA. Darmstadt
http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2015_PEF_EU-28_Electricity_2010-2013.pdf
- Itten, R & Frischknecht, Rolf (2014): Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, v2.2+ Stand 2014. im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB). Uster
http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/itten-2014-PEF-Energiesysteme-v2.2plus.pdf
- Nitsch, Joachim (2015): SZEN-15 Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung unter Berücksichtigung der Eckdaten des Jahres 2014. Kurzexpertise für den BEE. Stuttgart
http://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/20150419-Szenarien_SZEN-15.pdf
- PE (2014): Primary Energy Demand of Renewable Energy Carriers Part 1: Definitions, accounting methods and their applications with a focus on electricity and heat from renewable energies. Stoffregen, A & Schuller, O. Commissioned by the European Copper Institute. Leinfelden – Echterdingen
http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/documents-and-links/pe_primary_energy_demand_of_renewable_energy_carriers_20140527.pdf
- SK (2015): Zur Lage des Kohlenbergbaus in der Bundesrepublik Deutschland – Jahr 2014. Herne, Köln
http://www.kohlenstatistik.de/files/lb_statistik_2013.pdf
- VDI (1997): VDI Richtlinie 4600 - Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden. Düsseldorf

Anhang: Methodische Hinweise zur Bilanzierung

Die hier verwendete Bilanzierung von Lebenswegen folgt den Vorgaben der ISO 14040ff für Ökobilanzen, jedoch in vereinfachter Form (u.a. kein peer review).

A-1 Systemgrenzen der Bilanzierung

Die hier erfolgte Bilanzierung berücksichtigt **alle wesentlichen Stufen der Lebenswege** inklusive Herstellung von Anlagen, bei Importen auch im Ausland, sowie die entsprechenden **Transportaufwendungen**. Weiterhin werden Hilfsenergien (Strom, Wärme) und Hilfsstoffe (z.B. Schmiermittel, Kalkstein für Entschwefelung, NH₃ für DeNO_x) einbezogen, wenn diese mengenmäßig relevant sind (generelles 1%-Kriterium für den Massenstrom) oder spezifisch hohe Umwelteffekte zeigen (z.B. Edelmetalle als Katalysatoren).

Die Bilanzen klammern jedoch die **Entsorgung** aus⁴. Grund hierfür ist, dass in vielen Fällen stoffliche Komponenten wiederverwertet werden können (Aluminium, Beton, Glas, Stahl, Kupfer...) und die entsprechenden „Gewinne“ aus dem Recycling den Aufwand für Abriß und Rückbau übersteigen, insgesamt also eine Gutschrift erfolgen müsste. Da jedoch die künftigen Entsorgungssysteme sowie die künftig zu verrechnenden Gutschriften für vermiedene Primärmaterialien bei für Energiesysteme typischen Lebensdauern von 15-30 Jahren ungewiss sind, wird vereinfachend der Abriß und Rückbau **nicht** betrachtet.

Ebenfalls ausgeklammert wird die Entsorgung **kontinuierlich anfallender Reststoffe und Abfälle**, da hier ebenfalls einerseits Aufwände für deren schadlose Beseitigung entstehen (z.B. Transport und Deponierung), andererseits aber Komponenten wie z.B. Entschwefelungsprodukte und Aschen in hohem Maße rezykliert werden und damit wiederum Gutschriften für vermiedene Primärmaterialien (z.B. Gips, Split) anzusetzen wären.

Sensitivitätsrechnungen mit GEMIS für Steinkohlekraftwerke haben gezeigt, dass die vernachlässigten Effekte im Bereich unter 1% für KEV und THG-Emissionen liegen und damit innerhalb der Datengüte.

Weiterhin ist zu beachten, dass sich die Berechnung auf die bundesdeutsche **Bruttostromerzeugung** bezieht, d.h. die für Exporte genutzte Stromerzeugung ist in den Werten **enthalten**. Umgekehrt werden die über Stromimporte aus dem Ausland induzierten Effekte **hier nicht** einbezogen, da Deutschland einen signifikanten Stromexport-Überschuss aufweist, der auch bis 2020 – wenn auch reduziert – andauern wird.

⁴ Dies gilt nicht für AKW, da hier eine besondere Situation vorliegt. Die Aufwände für Abriß und Rückbau sowie für die direkte Endlagerung radioaktiver Abfälle sind als Aufschlag in den Daten enthalten.

Diese Vereinfachung führt eingedenk der bekannten Lastflüsse (Importe von Wasserkraftstrom aus Österreich und der Schweiz, Kohlestrom aus Polen und der Tschechischen Republik sowie Atomstrom aus Frankreich) zu keiner nennenswerten Verzerrung, da der anzusetzende Importmix zwar die deutsche Strombilanz belasten würde, aber für die Exporte entsprechende „vermiedene Erzeugung“ in – vorwiegend fossilen – Kraftwerken im Ausland gutgeschrieben werden müsste.

Zwar könnte mit einem EU-Mix für den Stromaustausch gerechnet werden – siehe z.B. die entsprechenden Daten in IINAS (2015) – und damit vereinfachend die „Netto“-Bilanz für Deutschland ermittelt werden, jedoch würde dies nicht die realen Lastflüsse und Grenzkraftwerksbedingungen in den im Stromaustausch einbezogenen Ländern reflektieren.

Würde dennoch eine solche Bilanz berechnet, würde sich ob des Exportüberschusses eine – allerdings nur leichte – Reduktion der hier ermittelten Werte ergeben. Die dargestellten Ergebnisse sind daher im Hinblick auf die Variation der Ex- und Importbilanz als robuste obere Grenze anzusehen⁵.

A-2 Anwendungsbereich („scope“)

Die hier vorgelegten Bilanzierungen dienen zur Bestimmung des KEV und der THG-Emissionen des bundesdeutschen **Strommixes** in den gegebenen Jahren für die **erzeugerseitige** Bereitstellung von Strom (Kraftwerkseinspeisung in Hochspannungsnetz) bzw. für die **verbraucherseitige** Bereitstellung (d.h. inkl. Netz- und Übertragungs- sowie Umspannverlusten).

Sie reflektieren die **durchschnittlichen** Effekte, die bei der Bereitstellung von Strom aus der öffentlichen Versorgung inklusiver vertraglich gesicherter Übergabeleistung des Bergbaus und der Industrie entstehen.

Dabei wurde die erneuerbare Stromerzeugung – unabhängig von **monetären** Flüssen der EEG-Vergütung und Marktprämien – proportional auf **alle** erzeugten Strommengen „umgelegt“. Dies erfolgt ebenfalls für die (relativ geringe) KWK-Stromerzeugung, d.h. auch hier wurde **unabhängig** von der monetären Vergütung für eingespeisten KWK-Strom die erzeugten kWh auf die gesamte Stromerzeugung proportional umgerechnet.

Dies entspricht den statistischen Zurechnungen von DESTATIS und AGEB und den Vorgaben der IEA-Energiestatistik.

⁵ Beim KEV wäre diese Bilanz durchaus sinnvoll, jedoch nicht bei den THG-Emissionen, da hier das EU-Emissionshandels-system erlaubt, im Ausland „vermiedene“ Emissionen im Rahmen der Verpflichtungsperiode durch Emissionen an anderer Stelle zu kompensieren. Das **territorial** orientierte Konzept der THG-Bilanzierung spricht daher für die hier verwendete Bruttobilanz.

A-3 Allokation

Wie in A-2 dargestellt, erfolgt in der hier vorgelegten Bilanzierung eine **rein energetische** Zurechnung von Strommengen aus bestimmten Erzeugungstypen (RE, KWK...) auf das nationale Strommix durch proportionale Anteile der jeweiligen Erzeugung im Gasamtmix. Eine „monetäre“ Allokation auf bestimmte Verbrauchergruppen, die besondere Vergütungsleistungen (nach dem EEG bzw. KWK-Gesetz) über die Strompreise erbringen, erfolgt also **nicht**⁶.

Es bleibt die Frage, wie die Stromerzeugung mittels Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bilanziert wird.

Hierfür gibt es verschiedene Ansätze, die jedoch bezogen auf den KEV und die THG-Emissionen des **gesamten** Strommixes wenig ergebniswirksam sind (vgl. Fritsche & Rausch 2008).

Um kompatibel mit den EU-Regelungen zur KWK sowie den statistischen Daten zu bleiben, wurde für die Bilanzierung eine **energiewertbezogene** Allokation zwischen KWK-Strom und KWK-Wärme angesetzt, die der sog. „finnischen Methode“ der EU-KWK-Richtlinie folgt.

A-4 KEV und KEA

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) wird schon seit den 1970er Jahren weltweit als Kennzahl für Energiesysteme verwendet. Anfang der 1990er Jahre entwarfen Experten des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) mit Beteiligung des Umweltbundesamts ein Regelwerk zur Bestimmung des KEA, die VDI-Richtlinie 4600 (VDI 1997). Diese Richtlinie enthält Definitionen, Rechenmethoden und Beispiele für KEA-Anwendungen. Sie ist Grundstein aller heutigen KEA-Arbeiten und präzisiert, was mit dem kumulierten Energieaufwand gemeint ist.

Die KEA-Richtlinie stellte erstmals deutlich heraus, daß der Primärenergieaufwand auch unter Umweltgesichtspunkten eine wichtige Größe ist.

In einem Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes wurde Ende der 1990er Jahre der sog. kumulierte **Energieverbrauch** (KEV) eingeführt (vgl. Fritsche u.a. 1999 + 2003)⁷. Der KEV repräsentiert wie der KEA die **Summe aller Primärenergieinputs**, inklusive solcher zur Materialherstellung, klammert aber den Energieinhalt von Brennstoffen aus, die **stofflich** genutzt werden (z.B. Bauholz).

⁶ Siehe A-6 für eine kurze Diskussion der Frage, welche Bilanzen für den Stromverbrauch einzelner Verbrauchergruppen (z.B. Haushalte) erstellt werden können.

⁷ Physikalisch gesehen kann Energie nicht „verbraucht“, sondern nur in andere Formen umgewandelt werden. Der Ausdruck „Verbrauch“ wurde gewählt, um eine Kompatibilität mit dem statistischen Primärenergieverbrauch herzustellen.

Weiterhin setzt der KEV **definitiv** den Nutzungsgrad **jeder** Primärenergiegewinnung auf 100% (z.B. Bergbau, Solarzelle, Wasserkraftwerk), d.h. alle „Förderverluste“ gehen zu Lasten des Lagers (bei fossilen und nuklearen Energieträgern) bzw. des Reservoirs (bei Wasserkraft) oder natürlichem Energiefluß (z.B. bei Solar- und Windenergie). Damit ist eine Kompatibilität mit den UN-, IEA-, EUROSTAT- und DESTATIS-Energiebilanzen gewährleistet.

A-5 Komponenten des KEV

Wichtig ist die Unterscheidung in KEV_{Summe} (gesamter KEV) sowie die Komponenten

- KEV_{NE} = nichterneuerbare (fossile + nukleare) Primärenergien
- KEV_{RE} = regenerative (erneuerbare) Primärenergien

Diese Unterscheidung wird auch international verwendet (vgl. Ecofys 2014; Fritsche & Rausch 2009 + 2011; Itten & Frischknecht 2014; PE 2014) und dient dazu, den KEV_{NE} als „Leitindikator“ für vereinfachte Ökobilanzen verwenden zu können (Fritsche u.a. 1999):

Der gesamte KEV ist zwar für ressourcenorientierte Fragen relevant, aber nicht „richtungssicher“ in bezug auf Umweltaspekte wie THG-Emissionen und Versauerungspotenzial (vgl. Fritsche u.a. 2003). Wird dagegen auf den KEV_{NE} abgestellt, ergibt sich eine tendenziell gute Übereinstimmung mit den Werten für THG-Emissionen. Zudem wird die Erfüllung der **politischen Zielsetzung**, den Anteil Erneuerbarer zu steigern, notwendig mit höheren KEV_{RE} -Anteilen einhergehen, und dies würde in der alleinigen Verwendung des gesamten KEV nicht sichtbar sein. Daher wird in der hier vorgelegten Bilanzierung vorwiegend auf den KEV_{NE} abgestellt und der KEV_{Summe} nur „nachrichtlich“ ausgewiesen.

A-6 KEV- und THG-Bilanzierung und Stromkennzeichnung

Der hier ermittelte KEV für den durchschnittlichen Strom (vgl. A-1) kann nicht herangezogen werden, um belastbare Aussagen über **Teilmengen** der Stromerzeugung oder des Stromverbrauchs abzuleiten.

Verbraucherseitig ist die **Stromkennzeichnung** ein zunehmend wichtiges Instrument, um Kunden über die Umweltaspekte des bezogenen Produkts zu informieren.

Die Stromkennzeichnung verwendet jedoch **andere** Bilanzgrenzen – sie orientiert sich an den Unternehmen und deren Bezüge und kann z.B. die Anteile von Erneuerbaren gezielt auf Kundengruppen (etwa entsprechend der von ihnen gezahlten EEG-Umlage) zurechnen.