



■ Ökobilanzen in energiepolitischen Entscheidungsprozessen

Dr. Martin Pehnt

Wissenschaftlicher Vorstand, Fachbereichsleiter Energie
Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

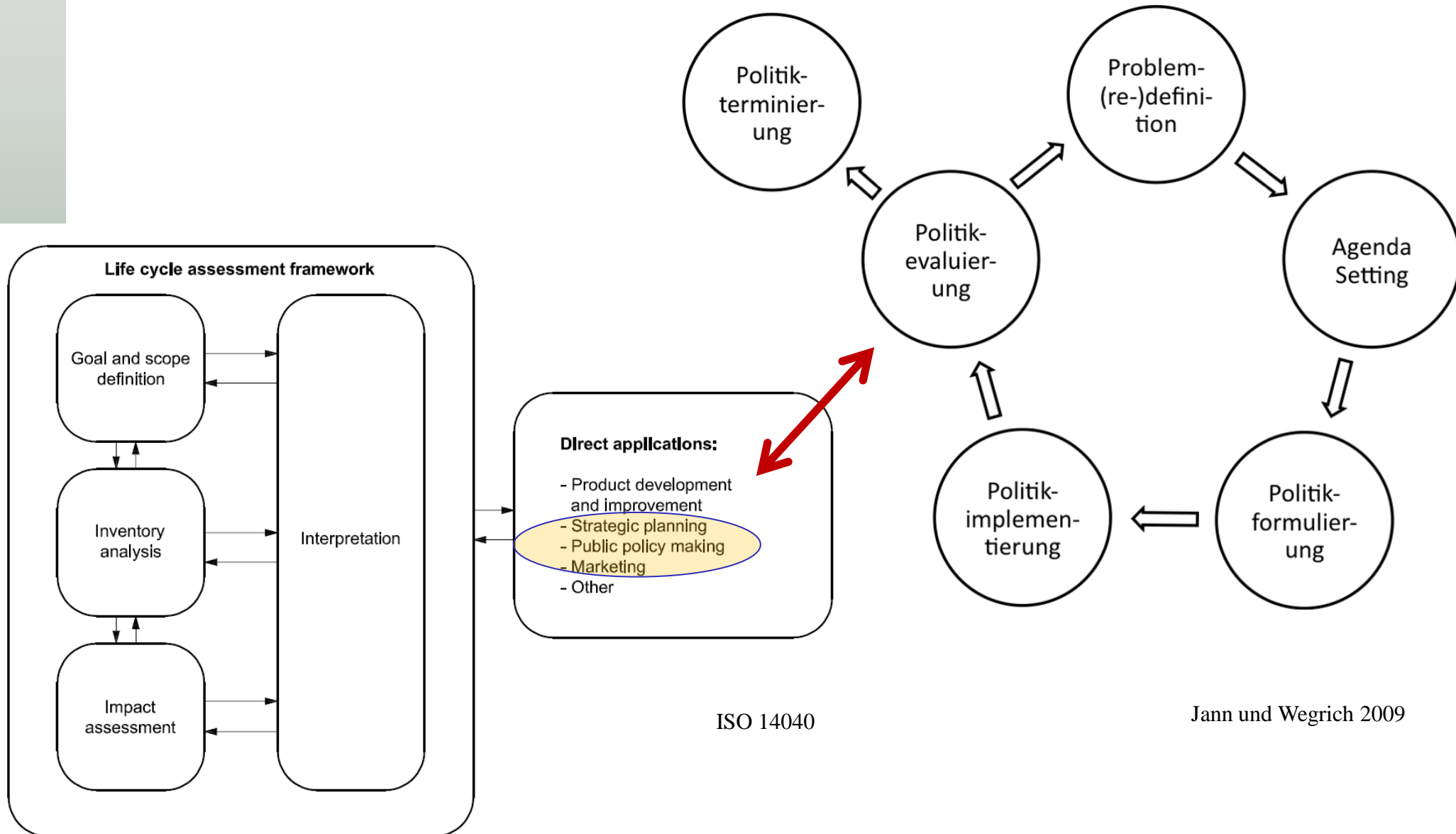
martin.pehnt@ifeu.de www.ifeu.de

Darmstadt, 30.9.2010

Arbeitsgebiete Fachbereich Energie

- **Technikfolgenabschätzung zukünftiger Energie- und Verkehrssysteme**
 - ▶ Erneuerbare, CCS, Elektromobilität, Brennstoffzellen, KWK, ...
- **Energiepolitik, v. a. EE und EF**
 - ▶ Energiekonzept
 - ▶ Nationale Klimaschutzinitiative
 - ▶ Marktanzreizprogramm
 - ▶ EEG und Effizienzgesetz, NachhaltigkeitsVO,
 - ▶ Internationale EE/EF-Politik
 - ▶ Klimaschutz in Kommunen
- **Marktstrategien für EE/EF-Technologien**
 - ▶ Energieversorger
 - ▶ Hersteller
- **Biomaterialien und biogene Energieträger**
- **Umweltverträglichkeitsuntersuchungen von Kraftwerken und Anlagen**

Ökobilanzen im Politikzyklus



ISO 14040

Jann und Wegrich 2009

Politik jenseits des Zyklus

ewi gws prognos

Studie

**Energieszenarien für ein Energiekonzept
der Bundesregierung**

Projekt Nr. 12/10

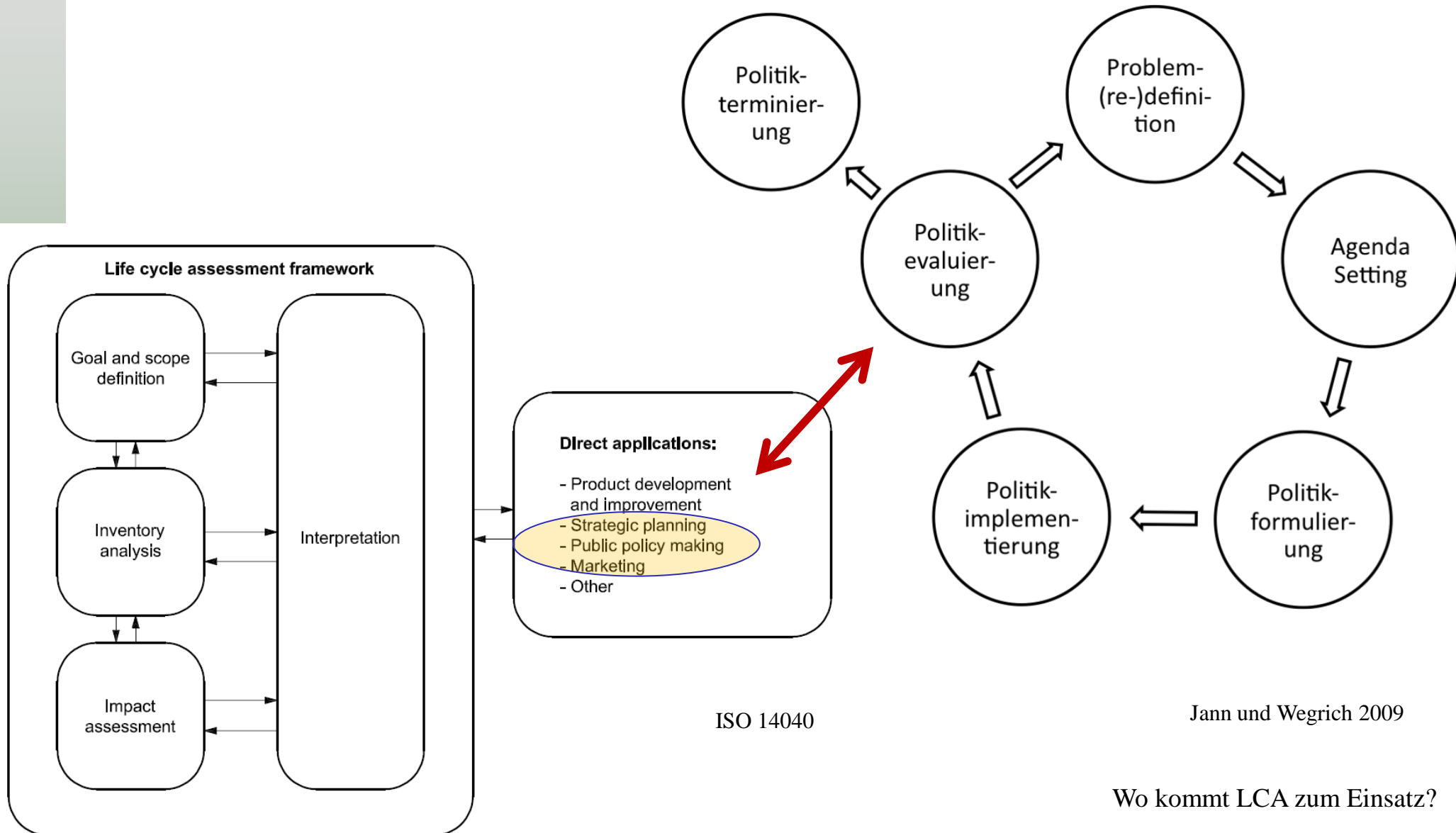
Entwurf BMWi / BMU

Energiekonzept

**Neun Punkte für eine umweltschonende, zuverlässige
und bezahlbare Energieversorgung**

7. September 2010

Ökobilanzen im Politikzyklus



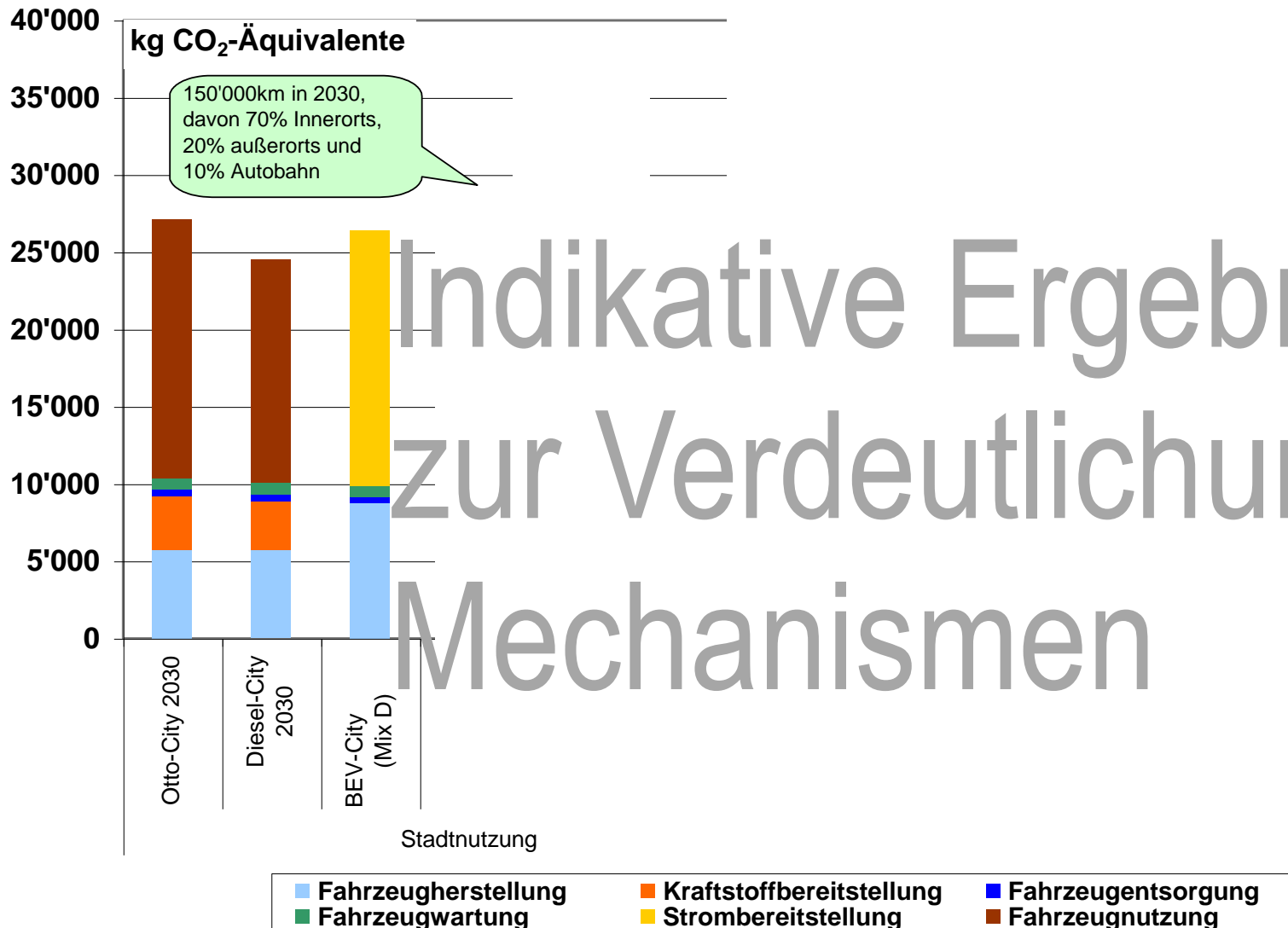
| Funktionen der LCAs | Beispiele aus den Bereichen EE und EF |
|--|--|
| Themensetting | <ul style="list-style-type: none"> • Biokraftstoffe • Geothermie (Eigenstrombedarf) • Energiesparlampen (Quecksilber) |
| Technologiebewertung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identifikation ökologischer Flaschenhälse und Chancen ▪ Identifikation erforderlicher Rahmenbedingungen | <ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffzelle (Erweiterung auf Herstellungsphase) • Elektroauto („Betankungs-Strommix“) • Wind Offshore |
| Politische Instrumente <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zielgröße oder Grenzwert ▪ Vergleichsgröße ▪ Verhinderung ökologischer Fehlentwicklungen | <ul style="list-style-type: none"> • PE-Kennzahl EnEV • Mindest-THG-Minderung Biokraftstoffe • Max. Methanleckage Biogas • KWK-Bonus im EEG • Blauer Engel • Ökodesign |
| Verbraucherinformationen | <ul style="list-style-type: none"> • Carbon Footprint • Stromkennzeichnung • Verkehrsträgervergleich |
| Statistik <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schließung der Systemgrenzen ▪ Berichterstattung ▪ Nachhaltigkeitsindikatoren | <ul style="list-style-type: none"> • Umweltökonomische Gesamtrechnung • THG-Einsparung durch EE • DUX, Ressourcenverbrauchsindex etc. |

Beispiel Elektromobilität

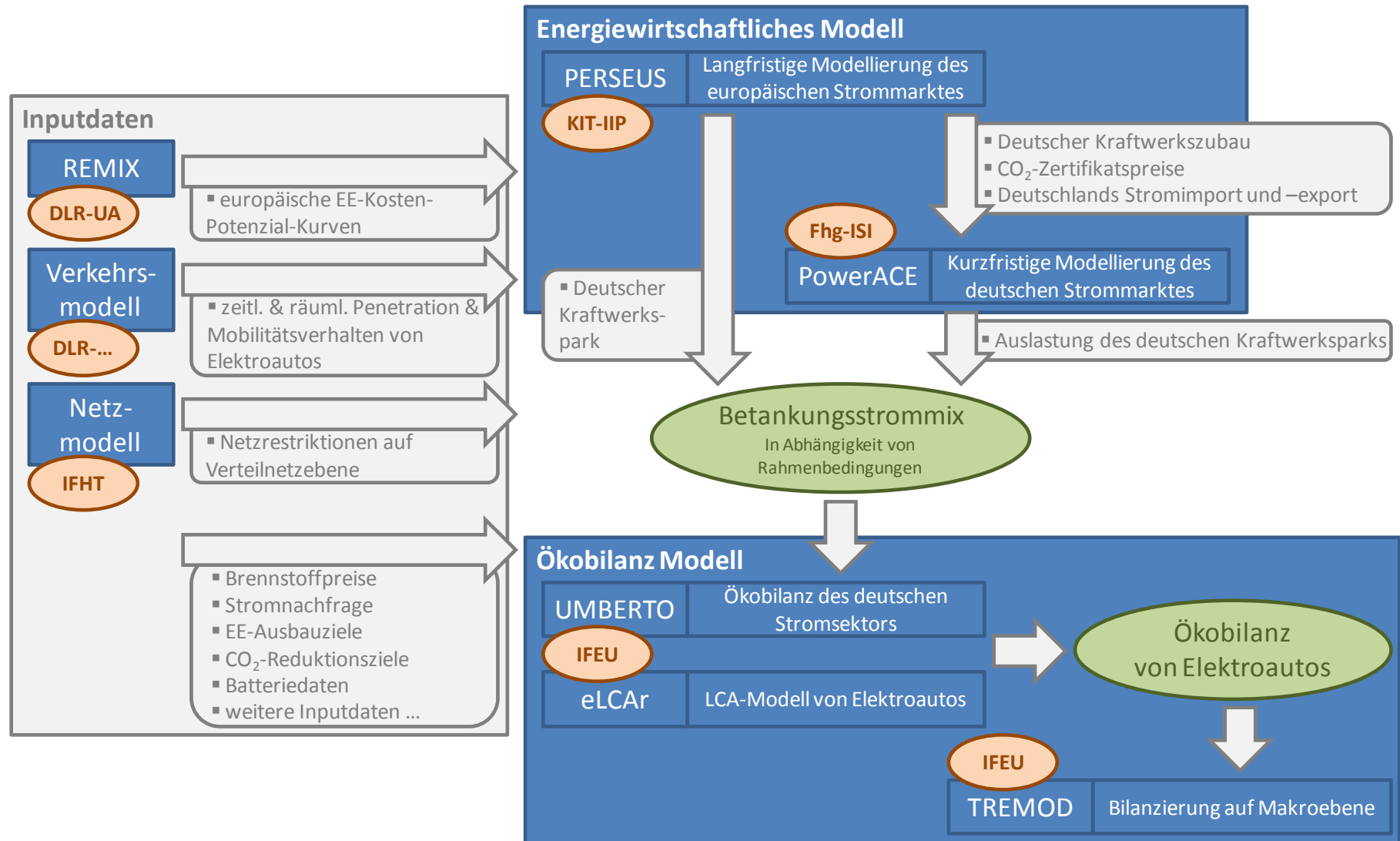


Elektromobilität

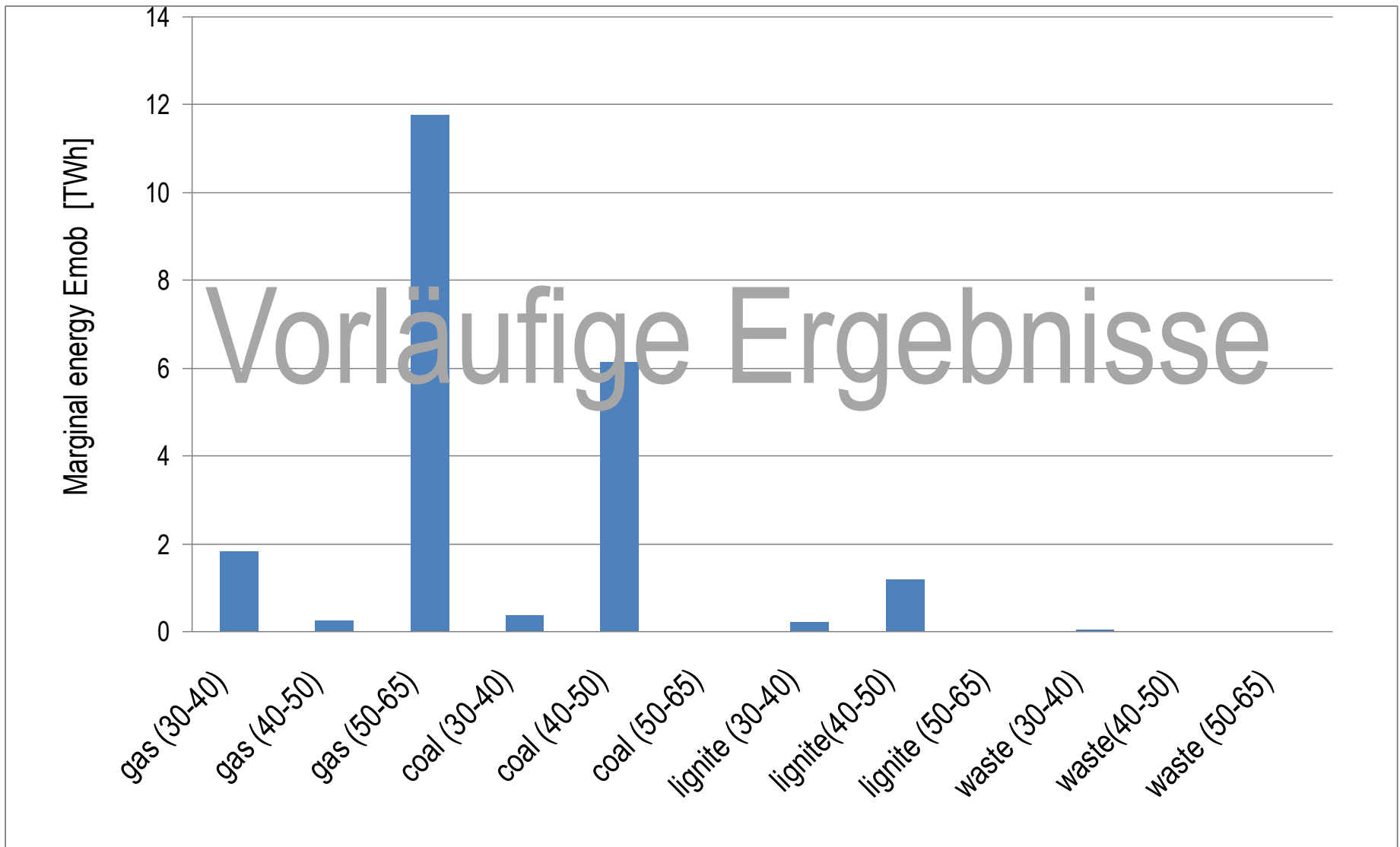
Mittelfristige Entwicklung. Praxisnaher Fahrzyklus. Fahrzeuge inkl. Nebenverbraucher.
Techn. Annahmen siehe Helms, Pehnt, Lambrecht 2010.



Modellkopplung zur Bestimmung der energiewirtschaftlichen Effekte

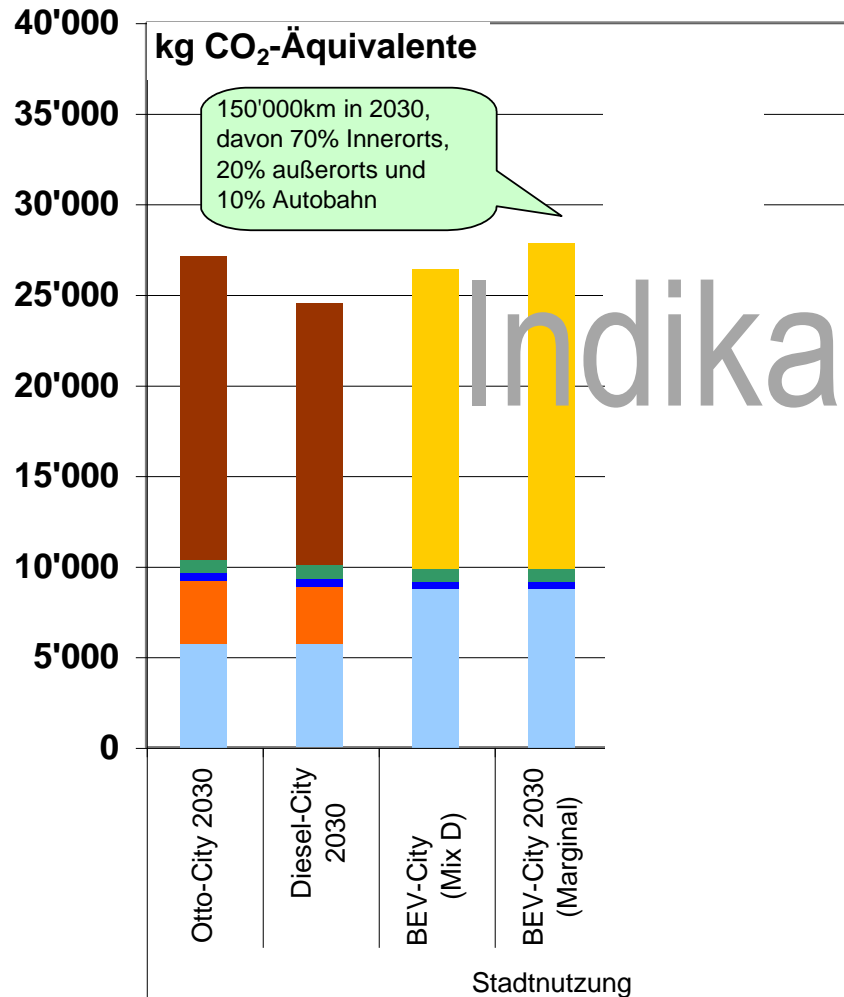


Marginaler Strommix bei Laden nach dem letzten Weg



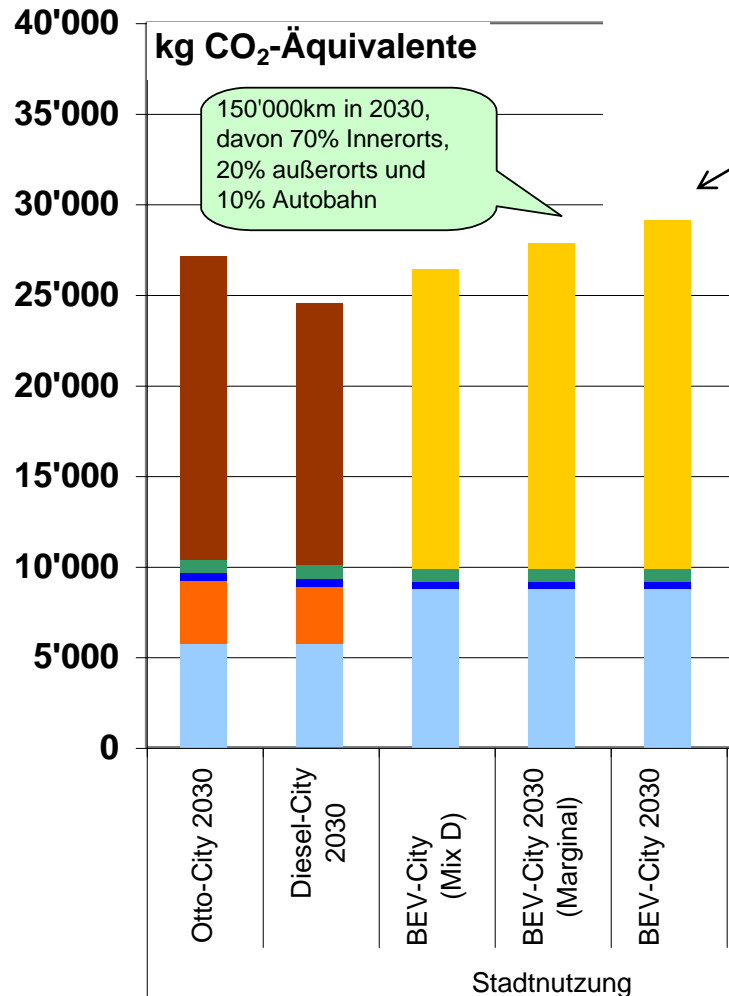
Elektromobilität

Mittelfristige Entwicklung. Praxisnaher Fahrzyklus. Fahrzeuge inkl. Nebenverbraucher.
Techn. Annahmen siehe Helms, Pehnt, Lambrecht 2010.



Elektromobilität

Mittelfristige Entwicklung. Praxisnaher Fahrzyklus. Fahrzeuge inkl. Nebenverbraucher. Techn. Annahmen siehe Helms, Pehnt, Lambrecht 2010.



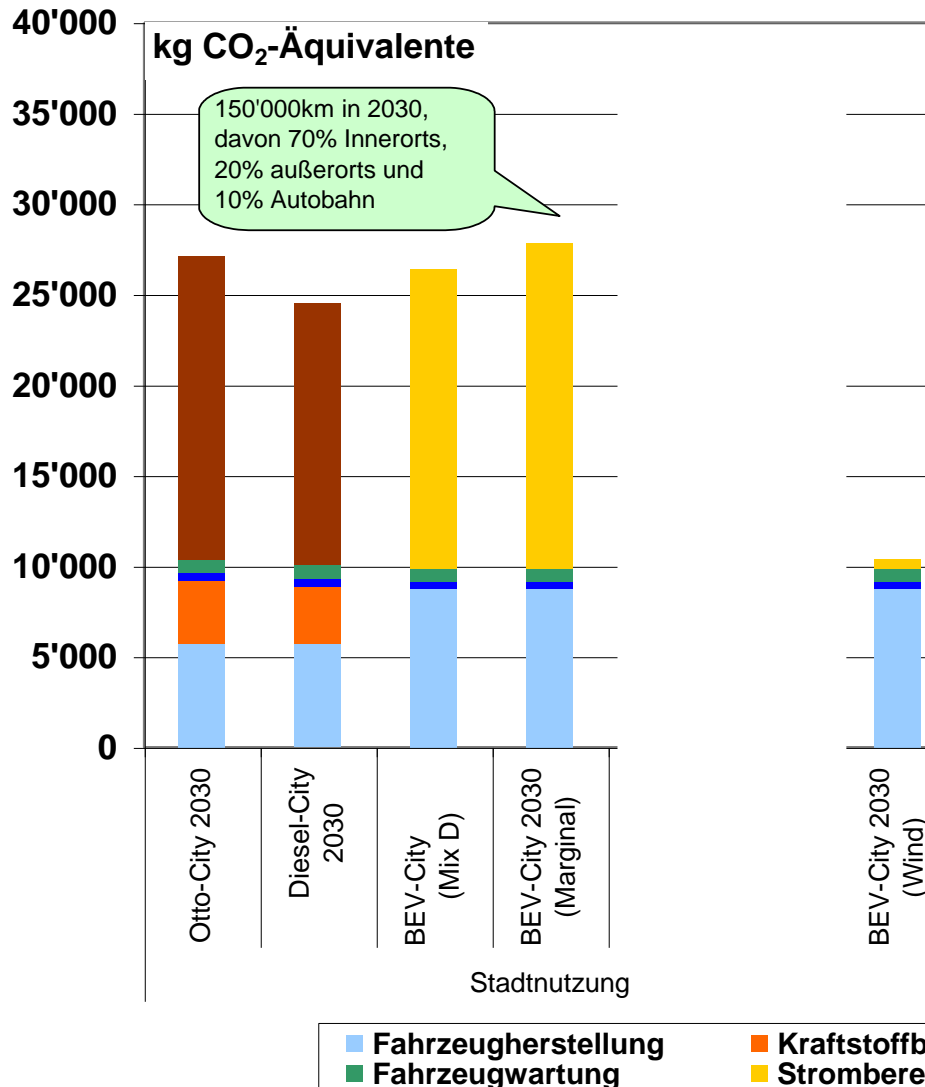
„Tanken, wenn der Wind weht“

- Spitzenlast wird deutlich reduziert
- Wind-Überschussstrom-Anteil wird erhöht
- aber auch: Steinkohle-Anteil wird erhöht

Indikative
Ergebnisse

Elektromobilität

Mittelfristige Entwicklung. Praxisnaher Fahrzyklus. Fahrzeuge inkl. Nebenverbraucher.
Techn. Annahmen siehe Helms, Pehnt, Lambrecht 2010.



Indikative
Ergebnisse

Konsequenzen

- **Grenzkraftwerksbetrachtungen beantworten andere Fragen als Durchschnittsbetrachtungen („Was passiert, wenn wir ceteris paribus Elektromobilität einführen?“)**
- **Sie erhöhen**
 - ▶ **den Informationsgehalt, aber auch**
 - ▶ **den Aufwand und**
 - ▶ **die Sensitivität bzgl. Annahmen (z. B. Zertifikatspreis)**
- **Anreize zum gleichzeitigen Ausbau zusätzlicher erneuerbarer Energien?**
 - ▶ **Wer muss was ausbauen?**
 - ▶ **Wie wird die Zusätzlichkeit definiert?**
 - ▶ **Wie bewerten wir einen zeitvariablen Betankungstarif?**

| Funktionen der LCAs | Beispiele aus den Bereichen EE und EF |
|--|--|
| Themensetting | <ul style="list-style-type: none"> • Biokraftstoffe • Geothermie (Eigenstrombedarf) • Energiesparlampen (Quecksilber) |
| Technologiebewertung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identifikation ökologischer Flaschenhälse und Chancen ▪ Identifikation erforderlicher Rahmenbedingungen | <ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffzelle (Erweiterung auf Herstellungsphase) • Elektroauto („Betankungs-Strommix“) • Wind Offshore |
| Politische Instrumente <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zielgröße oder Grenzwert ▪ Vergleichsgröße ▪ Verhinderung ökologischer Fehlentwicklungen | <ul style="list-style-type: none"> • PE-Kennzahl EnEV • Mindest-THG-Minderung Biokraftstoffe • Max. Methanleckage Biogas • KWK-Bonus im EEG • Blauer Engel • Ökodesign |
| Verbraucherinformationen | <ul style="list-style-type: none"> • Carbon Footprint • Stromkennzeichnung • Verkehrsträgervergleich |
| Statistik <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schließung der Systemgrenzen ▪ Berichterstattung ▪ Nachhaltigkeitsindikatoren | <ul style="list-style-type: none"> • Umweltökonomische Gesamtrechnung • THG-Einsparung durch EE • DUX, Ressourcenverbrauchsindex etc. |

Beispiel: Primärenergiefaktor der EnEV

$$Q_P = f_P \cdot Q_{\text{Brennstoff}} = f_P \cdot (Q_T + Q_V + Q_{TW} + Q_t - \eta_F \cdot Q_{\text{Solar}} - \eta_F \cdot Q_{\text{Innere}} + Q_{\text{Kühlung}})$$

Beispiel: Primärenergiefaktor der EnEV

$$Q_P = f_P \cdot Q_{\text{Brennstoff}} = f_P \cdot (Q_T + Q_V + Q_{TW} + Q_t - \eta_F \cdot Q_{\text{Solar}} - \eta_F \cdot Q_{\text{Innere}} + Q_{\text{Kühlung}})$$

▪ Bsp. Berechnung Fernwärmefaktor nach FW 309

$$f_{P,FW} = \frac{W_{Br} \cdot f_{P,Br} + (A_{HN} - A_{Bne,KWK}) \cdot f_{P,verdr}}{\sum Q_{FW}}$$

| | | |
|------------|---|--|
| mit | | |
| $f_{P,FW}$ | Primärenergiefaktor des Fernwärmesystems | $f_{P,Br}$ Primärenergiefaktor des eingesetzten Brennstoffes |
| W_{Br} | Brennstoffwärme des eingesetzten Energieträgers in MWh_{th} | A_{HN} Stromarbeit zum Betrieb des Heiznetzes (Umwälzung und Druckhaltung, ggf. Hilfsenergie). |
| | | $A_{Bne,KWK}$ KWK-Nettostromproduktion nach FW 308 |
| | | $f_{P,verdr}$ Primärenergiefaktor des ersetzten (verdrängten) elektrischen Stroms |
| | | $\sum Q_{FW}$ Summe der auf der Primärseite der Hausstationen der versorgten Gebäude gemessene Wärmeenergieverbrauch |

▪ Primärenergiefaktoren

Tabelle 6.2. Primärenergiefaktoren gemäß DIN 18599

| Energieträger | Primärenergiefaktor f_P | nicht erneuerbarer Anteil |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Brennstoffe | Heizöl EL | 1,1 |
| | Erdgas H | 1,1 |
| | Flüssiggas | 1,1 |
| | Steinkohle | 1,1 |
| | Braunkohle | 1,2 |
| | Holz | 0,2 |
| Nah-/Fernwärme KWK | fossil | 0,7 |
| | erneuerbar | 0,0 |
| Nah-/Fernwärme aus Heizwerken | fossil | 1,3 |
| | erneuerbar | 0,1 |
| Strom | Strom-Mix | 2,6 |
| Umweltenergie | Solar, Umgebungswärme | 0,0 |

Methodische Fragen

- **Gutschriftverfahren oder Allokation? → Wärme kommt vergleichsweise günstig an.**
- **Erfüllen PE-Faktoren die ökologische Lenkungswirkung adäquat?**
 - ▶ **Unterschiedliche THG-Intensitäten von fossilen Brennstoffen**
 - ▶ **Unterschiedliche THG-Intensitäten von biogenen Brennstoffen**
 - ▶ **Knappheiten (z. B. Biomasse-Budget)**
 - ▶ **Vollzug und Kontrolle**

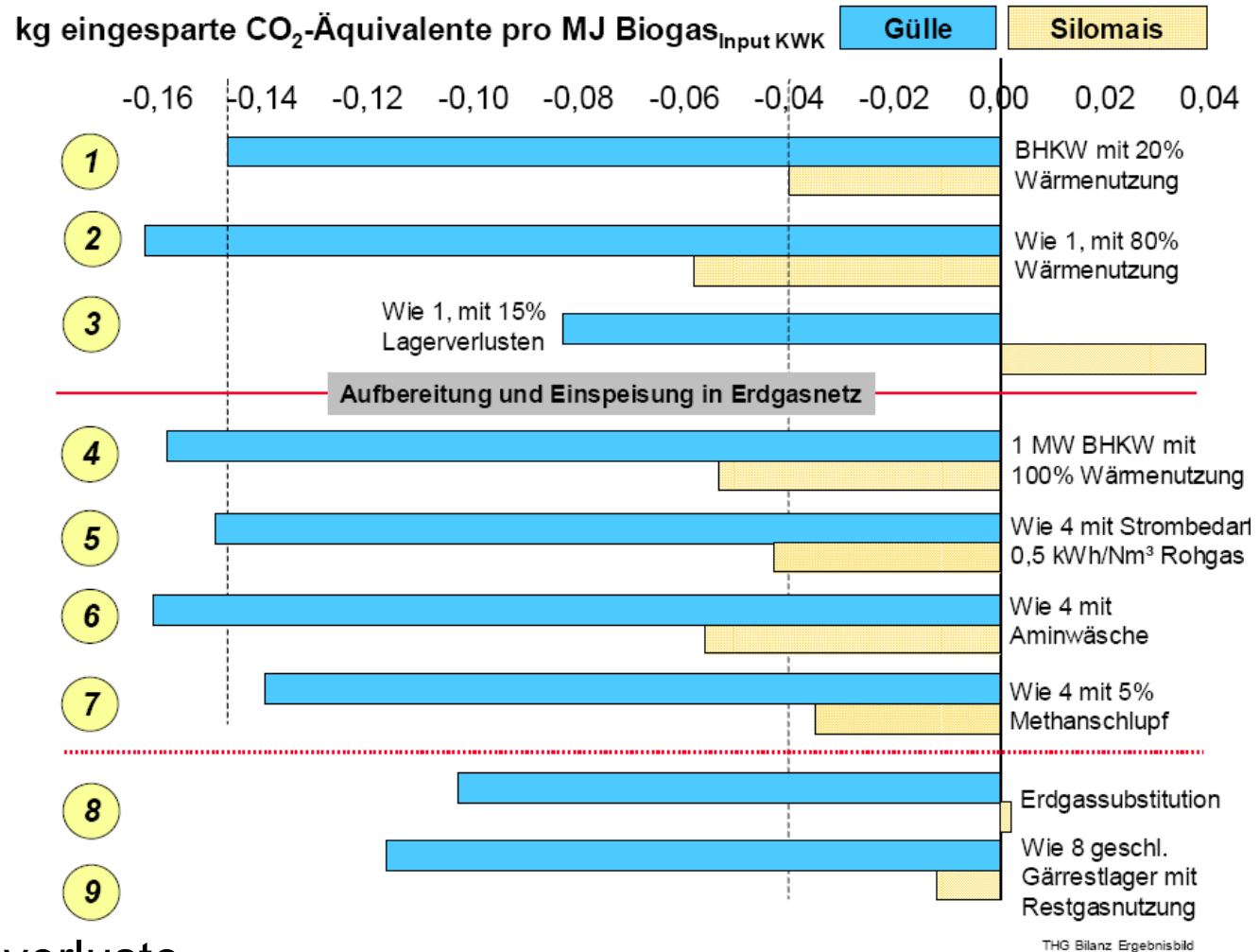
→ „politische Faktoren“
- **Bewertung von Reststoffen und Abwärme**

→ Nebenanforderungen?

Beispiel Biogas

- **Fragestellung:**
 - ▶ **Effizienzanreize im EEG?**
 - ▶ **Mindestanforderungen im EEG?**
 - ▶ **Mindestanforderungen außerhalb des EEG**

Beispiel: Biogas, EEG-Novelle



Stand 2007

→ max. 0,5 % Methanverluste,

→ max. 0,5 kWh/Nm³ Strom,

→ erneuerbare Prozesswärmedeckung

→ Anreize für Wärmenutzung (KWK, Biogasleitungen) und Reststoffnutzung

Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung (Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung - BioSt-NachV)

BioSt-NachV

§ 3 Anforderungen für die Vergütung

(1) Für Strom aus flüssiger Biomasse besteht der Anspruch auf Vergütung nach § 27 Absatz 1 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes nur, wenn

1. die Anforderungen an
 - a) den Schutz natürlicher Lebensräume nach den §§ 4 bis 6 und
 - b) eine nachhaltige landwirtschaftliche Bewirtschaftung nach § 7 erfüllt worden sind,
2. die eingesetzte flüssige Biomasse das Treibhausgas-Minderungspotenzial nach § 8 aufweist und

§ 8 Treibhausgas-Minderungspotenzial

(1) Die eingesetzte flüssige Biomasse muss ein Treibhausgas-Minderungspotenzial von mindestens 35 Prozent aufweisen. Dieser Wert erhöht sich

1. am 1. Januar 2017 auf mindestens 50 Prozent und
2. am 1. Januar 2018 auf mindestens 60 Prozent, sofern die Schnittstelle nach § 2 Absatz 3 Nummer 2 nach dem 31. Dezember 2016 in Betrieb genommen worden ist.

Nachhaltigkeitskriterien Treibhausgaseinsparung

Konkretisierung nach Anlage 1

Berechnung der THG-Emissionen bei Herstellung, Lieferung und Verwendung von flüssigen Brennstoffen wie folgt :

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee}$$

Die Einsparungen bei den Treibhausgasemissionen werden wie folgt berechnet:

$$\text{EINSPARUNG} = (EF - EB)/EF$$

Dabei sind:

EB = Gesamtemissionen bei der Verwendung der flüssigen Biomasse,

EF = Gesamtemissionen des **Komparators** für Fossilbrennstoffe.

EF ist bei Einsatz als Kraftstoff

bei ausschließlicher Stromerzeugung

bei Nutzung zu KWK

Bei Wärmeerzeugung

Dabei sind:

E = Gesamtemissionen bei der Verwendung des flüssigen Brennstoffs,
 e_{ec} = Emissionen bei der Gewinnung der Rohstoffe, insbesondere bei Anbau und Ernte der Biomasse, aus der die flüssige Biomasse hergestellt wird,
 e_l = auf das Jahr umgerechnete Emissionen auf Grund von Kohlenstoffbestandsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen,
 e_p = Emissionen bei der Verarbeitung,
 e_{td} = Emissionen bei der Lieferung,
 e_u = Emissionen bei der Nutzung des flüssigen Brennstoffs,
 e_{sca} = Emissionseinsparungen durch Anreicherung von Kohlenstoff im Boden infolge besserer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungspraktiken,
 e_{ccs} = Emissionseinsparungen durch Abscheidung und geologische Speicherung von Kohlendioxid,
 e_{ccr} = Emissionseinsparungen durch Abscheidung und Ersetzung von Kohlendioxid,
 e_{ee} = Emissionseinsparungen durch überschüssigen Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung.

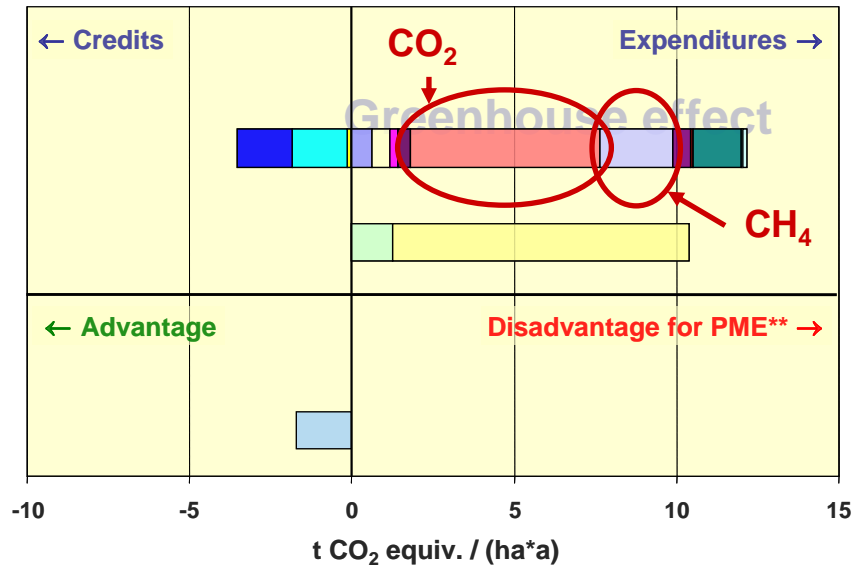
83,8 g CO₂Äq./MJ

91 g CO₂Äq./MJ

85 g CO₂Äq./MJ.

77 g CO₂Äq./MJ

Beispiel: GHG-Kriterien in der RES-E-Richtlinie



Palm oil biodiesel*

Convent. diesel

Balance



Expenditures:

- Biomass tractor + power
- Biomass seedlings
- Biomass N-fertiliser
- Biomass other auxiliaries
- Transport kernels
- N₂O field emissions
- Reference system

- POME CH₄ emissions
- Transport ocean
- Process refining
- Process transesterification
- Transport palm oil
- Utilisation palm oil

Credits:

- Credit soy meal
- Credit tensides
- Credit chemicals

Fossil equivalent:

- Foss. equivalent provision
- Foss. equivalent usage

* Natural forest + typical cultivation

** PME = Palm oil methyl ester = Palm oil biodiesel

➔ Large influence of land use change and palm oil production (plantation / palm oil mill management)

| Funktionen der LCAs | Beispiele aus den Bereichen EE und EF |
|--|---|
| Themensetting | <ul style="list-style-type: none"> • Biokraftstoffe • Geothermie (Eigenstrombedarf) • Energiesparlampen (Quecksilber) |
| Technologiebewertung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identifikation ökologischer Flaschenhälse und Chancen ▪ Identifikation erforderlicher Rahmenbedingungen | <ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffzelle (Erweiterung auf Herstellungsphase) • Elektroauto („Betankungs-Strommix“) • Wind Offshore |
| Politische Instrumente <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zielgröße oder Grenzwert | <ul style="list-style-type: none"> • PE-Kennzahl EnEV • Mindest-THG-Minderung Biokraftstoffe • Max. Methanleckage Biogas • KWK-Bonus im EEG |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergleichsgröße ▪ Verhinderung ökologischer Fehlentwicklungen | <ul style="list-style-type: none"> • Blauer Engel • Ökodesign |
| Verbraucherinformationen | <ul style="list-style-type: none"> • Carbon Footprint • Stromkennzeichnung • Verkehrsträgervergleich |
| Statistik <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schließung der Systemgrenzen ▪ Berichterstattung ▪ Nachhaltigkeitsindikatoren | <ul style="list-style-type: none"> • Umweltökonomische Gesamtrechnung • THG-Einsparung durch EE • DUX, Ressourcenverbrauchsindex etc. |

Ökodesign-Richtlinie

Artikel 15

Durchführungsmaßnahmen

- (2) Diese Richtlinie sieht die Festlegung von Anforderungen vor, die die von den Durchführungsmaßnahmen erfassten energieverbrauchsrelevanten Produkte erfüllen müssen, damit sie in Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen werden dürfen. Sie trägt zur nachhaltigen Entwicklung bei, indem sie die Energieeffizienz und das Umweltschutzniveau erhöht und zugleich die Sicherheit der Energieversorgung verbessert.
- (4) Bei der Ausarbeitung eines Entwurfs einer Durchführungsmaßnahme geht die Kommission wie folgt vor:
- a) Sie prüft den Lebenszyklus des Produkts sowie alle seine bedeutsamen Umweltaspekte, unter anderem die Energieeffizienz. Der Umfang der Untersuchung der Umweltaspekte und der Durchführbarkeit von deren Verbesserungen steht im Verhältnis zu ihrer Bedeutung. Die Festlegung von Öko-

Beispiel: Kopierer

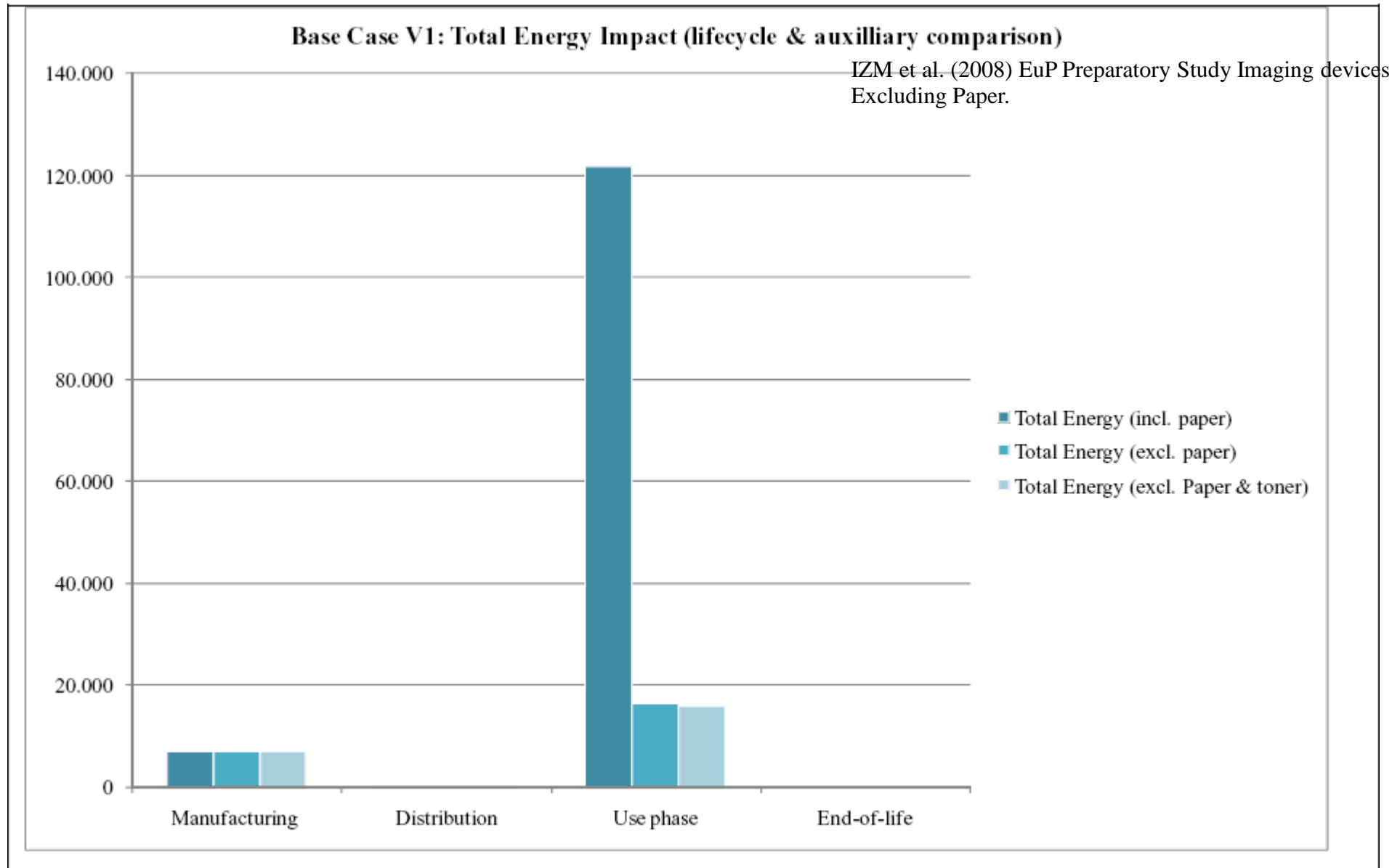


Figure 1: Total energy impact comparison including auxiliaries for Base Case V1

Beispiel: Tintenstrahldrucker

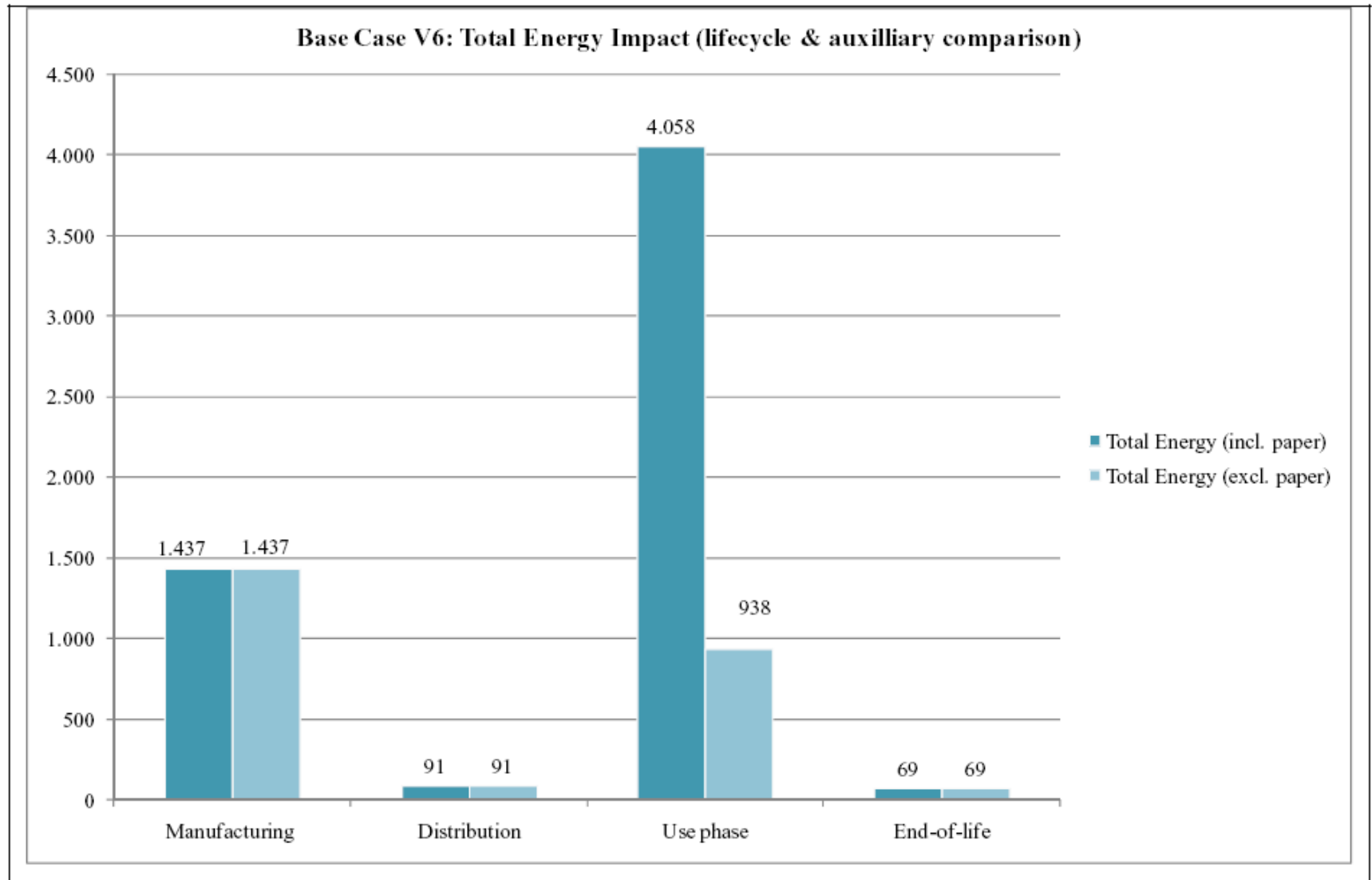


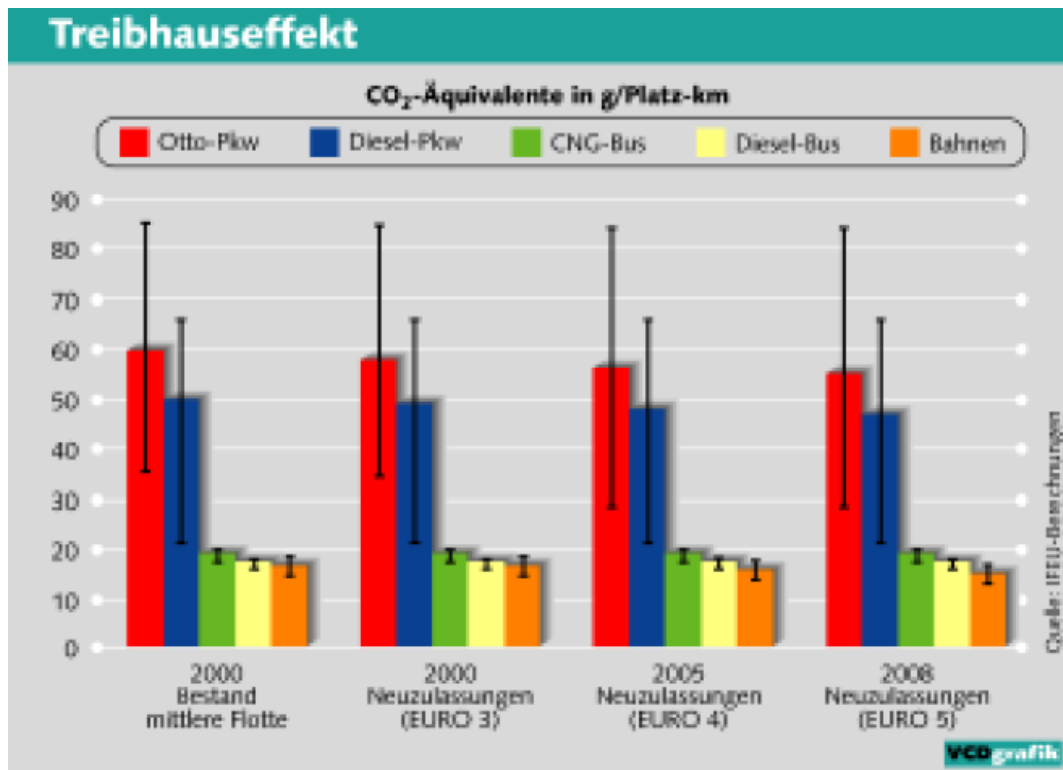
Figure 18: Total energy impact comparison including auxiliaries for Base Case V6

Und was kommt dabei raus?

- **Vorschlag für eine freiwillige Selbstverpflichtung**
 - ▶ **Einhaltung eines Mindestanteils an Energy Star-Geräten**
 - ▶ **Duplex als Default einrichten**
 - ▶ **Vereinfachte Rückgabe der Tonerkartuschen**
 - ▶ **Verpflichtende Endkunden-Information**

| Funktionen der LCAs | Beispiele aus den Bereichen EE und EF |
|--|--|
| Themensetting | <ul style="list-style-type: none"> • Biokraftstoffe • Geothermie (Eigenstrombedarf) • Energiesparlampen (Quecksilber) |
| Technologiebewertung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identifikation ökologischer Flaschenhälse und Chancen ▪ Identifikation erforderlicher Rahmenbedingungen | <ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffzelle (Erweiterung auf Herstellungsphase) • Elektroauto („Betankungs-Strommix“) • Wind Offshore |
| Politische Instrumente <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zielgröße oder Grenzwert ▪ Vergleichsgröße ▪ Verhinderung ökologischer Fehlentwicklungen | <ul style="list-style-type: none"> • PE-Kennzahl EnEV • Mindest-THG-Minderung Biokraftstoffe • Max. Methanleckage Biogas • KWK-Bonus im EEG • Blauer Engel • Ökodesign |
| Verbraucherinformationen | <ul style="list-style-type: none"> • Carbon Footprint • Stromkennzeichnung • Verkehrsträgervergleich |
| Statistik <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schließung der Systemgrenzen ▪ Berichterstattung ▪ Nachhaltigkeitsindikatoren | <ul style="list-style-type: none"> • Umweltökonomische Gesamtrechnung • THG-Einsparung durch EE • DUX, Ressourcenverbrauchsindex etc. |

Verbraucherinformation



Stromkennzeichnung

- **Stromkennzeichnung**
 - ▶ **Derzeit kein Lebenszyklusansatz**
 - ▶ **Direkte Emissionen z. B. aus Kraftwerken gemäß vertraglicher Liefervereinbarungen**
 - ▶ **Strom von der Strombörse: UCTE**
 - ▶ **Ökostrom: 0 g/kWh**

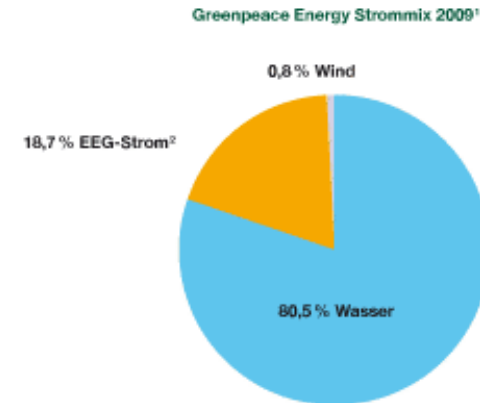
STROMKENNZEICHNUNG

gemäß § 42 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) vom 13. Juli 2005

GREENPEACE ENERGY EG, HAMBURG STROMLIEFERUNG IM ZEITRAUM 1.1.2009 – 31.12.2009

ENERGIETRÄGERMIX

| | Greenpeace Energy Strommix 2009 ¹ | Bundesdeutscher Durchschnittsmix 2008 |
|------------------------|--|---------------------------------------|
| Wasser | 80,5 % | 1,0 % |
| Wind | 0,8 % | |
| Sonne | | |
| Biomasse | | |
| EEG-Strom ² | 18,7 % | 14,8 % |
| Atomenergie | | 25,4 % |
| Braunkohle | | 22,3 % |
| Steinkohle | | 19,1 % |
| Erdgas | | 12,3 % |
| Sonstige | | 5,1 % |



UMWELTBELASTUNG

Abfallprodukte bei der Herstellung einer Kilowattstunde (kWh) dieses Stroms:

| | Greenpeace Energy Strommix 2009 ¹ | Bundesdeutscher Durchschnittsmix 2008 |
|----------------------------|--|---------------------------------------|
| CO ₂ EMISSIONEN | 0g | 506g |
| RADIOAKTIVER ABFALL | 0g | 0,0007g |



¹ Herkunftsländer: Dänemark, Deutschland, Norwegen, Österreich

² Anteil an regenerativem Strom, der von jedem Stromanbieter gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) an den Kunden weitergeleitet werden muss

Herausforderungen des LCA-Einsatzes im politischen Entscheidungsprozess

- **Kommunizierbarkeit!**
 - ▶ Vereinfachungen der Darstellung und Untersuchungsdimensionen
- **Politische Umsetzbarkeit**
 - ▶ Vollzug → Defaults, Tools, ...
- **Prognosefähigkeit und Projektion**
 - ▶ Oftmals zukünftige Systeme
- **Substitutionseffekte, Multioutput-Prozesse**
 - ▶ Sektorenkopplung (Strom/Wärme/Verkehr)
 - ▶ Zunehmende Effizienz → zunehmende Kopplungen und Kaskaden

- Platz für viele Dissertationen

Weitere Lektüre...



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

