

## LCA-EE

Aktualisierung von Ökobilanzdaten für Erneuerbare Energien im Bereich Treibhausgase und Luftschadstoffe

Beitrag zum 13.- Symposium Energieinnovation in Graz

Graz, 12.2.2014

Lothar Rausch, Öko-Institut

Gefördert durch:



# Übersicht

---

**1** LCA-EE Aufgabenstellung

**2** Anforderungen Technologieraster

**3** Datenhandling

**4** Ausgewählte Ergebnisse

**5** Anwendbarkeit Daten

---

# 1 LCA-EE Aufgabenstellung

---

- Die Berichterstattung über die effektive Umweltentlastung durch EE erfordert, die lebenswegbezogenen Umwelteffekte der EE denen der substituierten (fossilen) Energieträger gegenüberzustellen
- Update der ökobilanziellen Daten zu Treibhausgasen, SO<sub>2</sub>, Nox, Staub
- Differenzierung Anlagendaten insbesondere im Bereich Biomassenutzung
- Datengrundlagen zu lebenswegsbezogenen THG- und Luftschadstoff-Emissionen durch EE
- Datenqualität und Datenvalidierung der Ökobilanz-Basisdaten
- Fortschreibungsmöglichkeiten dieser Daten

# 1 Projektkonsortium

---

 **Öko-Institut e.V.**  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology

Koordination, Bio-Vorketten, Modellierung,  
Fortschreibungskonzept

 **DBFZ** Bioenergie-Anlagenspektrum

 **DLR** Solarwärme (+ CSP)

 **ecoinvent** Wasserkraft (ecoinvent)

 **GZB** Geothermie

 **ifeu** THG-Daten Bioenergie, Methodik

 **Fraunhofer IWES** Wind

 **smart** Photovoltaik  
GREEN SCANS

## 2 Anforderungen Technologieraster

---

- Für alle technischen Varianten der Erzeugung erneuerbarer Energien wird eine Klasse gebildet, in der diese Anlagen zugeordnet werden
- Je mehr Technologie-Varianten abgebildet werden können, desto genauer lässt sich die Einzeltechnologie beschreiben
- Um den Aufwand bei der statistischen Erhebung der Daten nicht zu vergrößern, muss die Anzahl der Technologievarianten eingeschränkt werden
- Die gewählte Klassenaufteilung muss den Bestand der Anlagen möglichst präzise abbilden.
- Eine Klasse kann aus einem Mix aus Einzeltechnologien bestehen. Dieser Mix wird dokumentiert und ist fortschreibbar

## 2 Technologieraster Anbau

	INPUT	Gewinnung	Logistik		Konversion <u>upstream</u>					
	biogener Rohstoff	Saat, Anbau, Behandlung, Ernte	Schlepper, Traktor, Lkw usw.	Lager, Umschlag	Trocknung, Zerkleinerung, Kompaktierung, Aufbereitung	Festbettvergasung (FB)	WS-Vergasung (WS) > 2 MW	Biogas-erzeugung	Gas-Reinigung/upgrading	Sonstige (Umesterung, Ethanol, FT)
<b>Energiepflanzen</b>	Kurzumtrieb	X	X		X	X	X			X
	Raps	X	X		X					X
	Zuckerrüben	X	X							X
	Zuckerrohr	X	X							X
	Palm	X	X		X					X
	Soja	X	X		X					X
	Mais-Silage	X	X	X	X			X	X	
	Weizen	X	X							X
	Roggen-Silage	X	X	X	X			X	X	X

## 2 Technologieraster Reststoffe

	INPUT	Gewinnung	Logistik		Konversion <u>upstream</u>					
			Schlepper, Traktor, Lkw usw.	Lager, Umschlag	Trocknung, Zerklei- nerung, Kompaktie- rung, Aufbereitung	Festbettvergasung (FB)	WS-Vergasung (WS) > 2 MW	Biogas-erzeugung	Gas- Reini- gung/upgrading	Sonstige (Umeste- rung, Ethanol, FT)
Abfälle, Reststoffe	Altholz				X					
	Rest-, Schwachholz		X	X	X	X	X		X	X
	Sägespäne etc.				X					
	Stroh		X		X		X		X	
	Altfett		X							X
	Grünschnitt		X					X		
	Landschaftspflegematerial		X		X			X		
	Gülle		X					X	X	
	org. Hausmüll							X	X	
	industr. Substrate							X		
	industr. fester Bioabfall			X		X				
	Klärgas									
	Tierfett/Tiermehl									
	Klärschlamm					X				
	Schwarzlauge									
Deponiegas										

## 2 Technologieraster (fest)

INPUT	INPUT	Binzelofen		Heizungen		Unterschub		Rostfeuerung > 500 kW		WVF		MVA		Mitverbrennung Kohle		Motoren		GT		mobile Nutzung Mob			
		Bioenergieträger	1-5 kW	< 10 kW	10-50 kW	50-100 kW	100 - 500 kW	Kessel	DT 1-5 MWel	DT 5-20 MWel	ORC	5-50 MWel, SWS	> 50 MWel, ZWS	5-100 MWel	DT-HKW 50-300 MWel	DT-KW > 300 MWel	Gas	Gas-Zündstrahl	Diesel	< 16 MWel	> 16 MWel	Otto	Diesel
	fest																						
Holz	Scheitholz	x	x	x																			
	Holzackschnitzel		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x								
Abfälle	Altholz A1-2								x				x										
	Altholz A3-4								x				x										
Reststoffe	Holzpellets	x	x	x	x	x	x	x	x	x													
	Strohballen					x	x	x	x	x				x	x								
	Schwarzlauge													x									
Abfälle	industr. Bioabfall												x										
	org. Hausmüll												x										
	Klärschlamm												x										
	Tierfett/Tiermehl												x										



## 2 Technologieraster (gas)

INPUT	INPUT	Einzelofen		Heizungen		Unterschub		Rostfeuerung > 500 kW		WSF		MVA		Mitverbrennung Kohle		Motoren		GT		mobile Nutzung Motor				
		Rohstoff	Bioenergieträger	1-5 kW	< 10 kW	10-50 kW	50-100 kW	100 - 500 kW	Kessel	DT 1-5 MW <sub>el</sub>	DT 5-20 MW <sub>el</sub>	ORC	5-50 MW <sub>th</sub> SWS	> 50 MW <sub>th</sub> ZWS	5-100 MW <sub>el</sub>	DT-HKW 50-300 MW <sub>th</sub>	DT-KW > 300 MW <sub>th</sub>	Gas	Gas-Zündstrahl	Diesel	< 16 MW <sub>th</sub>	> 16 MW <sub>th</sub>	Otto	Diesel
	<b>gasförmig</b>																							
Holz	Produktgas (roh)																x	x						
	Biomethan																x	x					x	
Gülle	Biogas																x	x		x				
	Biomethan																x	x		x	x			
org. Hausmüll	Biogas																x	x		x	x			
	Biomethan																x	x		x	x	x		
Mais	Biogas																x	x		x	x			
	Biomethan																x	x		x	x	x		
Roggen	Biogas																x	x		x	x			
	Biomethan																x	x		x	x	x		
Abfälle	Klärgas																x	x		x				
	Deponiegas																x	x		x	x			

## 2 Technologieraster (flüssig)

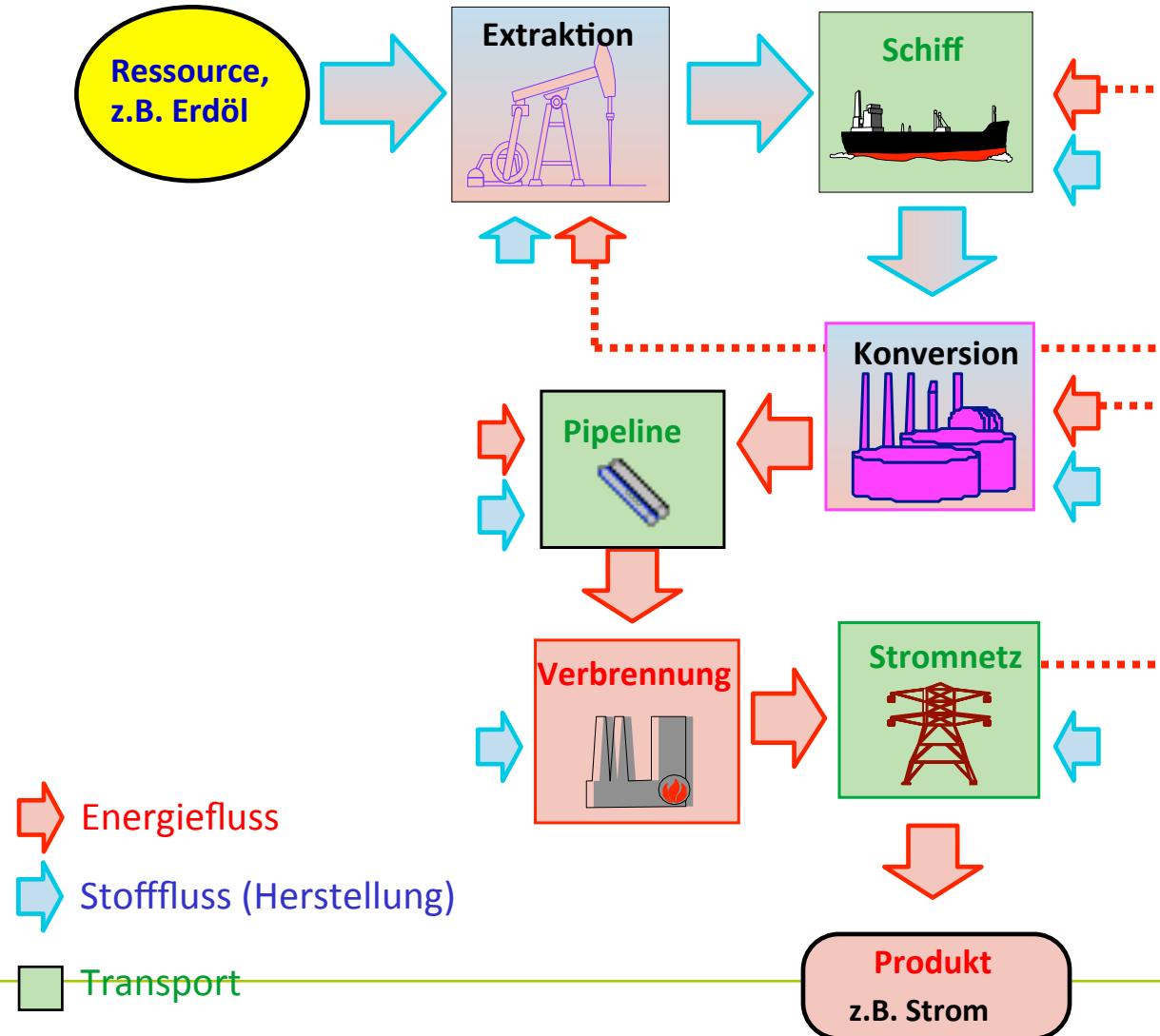
	INPUT	INPUT	Einzelofen		Heizungen		Unterschub		Rostfeuerung > 500 kW		WSF		MVA		Mitverbrennung Kohle		Motoren		GT		mobile Nutzung Motor		
			Rohstoff	Bioenergieträger	1-5 kW	< 10 kW	10-50 kW	50-100 kW	100 - 500 kW	Kessel	DT 1-5 MW <sub>el</sub>	DT 5-20 MW <sub>el</sub>	ORC	5-50 MW <sub>th</sub> SWS	> 50 MW <sub>th</sub> ZWS	5-100 MW <sub>el</sub>	DT-HKW 50-300 MW <sub>th</sub>	DT-KW > 300 MW <sub>th</sub>	Gas	Gas-Zündstrahl	Diesel	< 16 MW <sub>th</sub>	> 16 MW <sub>th</sub>
		<b>flüssig</b>																					
Abfälle		AME																	X				X
Raps/Sonnenblumen		Pflanzenöl																	X				X
		RME/SME																	X				X
Palm		PME																	X				X
		FT-Diesel																					X
Zuckerrübe		Ethanol																				X	
Zuckerrohr		Ethanol																				X	

## 3 Datenhandling

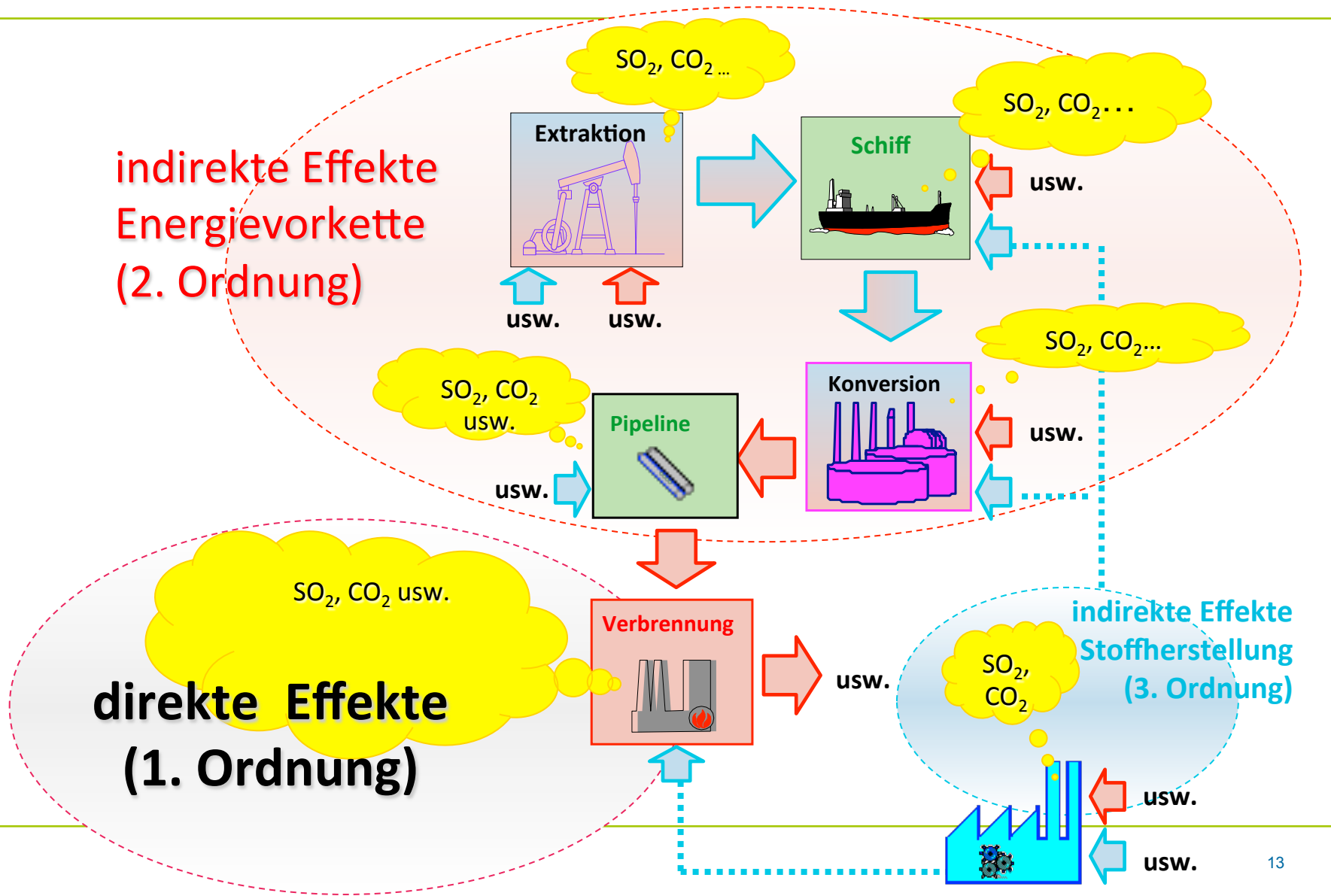
---

- Für jede Technologie im Datenraster wird eine technische Beschreibung geliefert und die Kenndaten in einem Datenblatt abgelegt
- Die Kenndaten enthalten Informationen über direkte Emissionen und Emissionen aus der Vorkette
- Die Kenndaten werden als Prozess in GEMIS und in der ProBas-Datenbank des UBA abgelegt, Integration in ZSE
- Die Kenndaten werden zusätzlich in einem Format zur Verfügung gestellt, das durch übliche Software weiterverarbeitet werden kann (Excel, XML)
- Eine Excel-Datei verknüpft die Kenndaten mit den statistisch erhobenen Kenngrößen (eingespeiste Strommenge, ...)

# GEMIS, Prozesskette Energie



# GEMIS, Indirekte Effekte



## 4 Ausgewählte Ergebnisse (Vorketten 1)

Anbausystem	Emission in g/G <sub>out</sub> , ohne Nutzung					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	MJ <sub>primär</sub> /G <sub>out</sub>
Mais-Silage	14.405	2.803	409	31	3,9	44
Raps-Körner	46.948	11.622	757	111	14,5	186
Zuckerrüben	18.627	3.386	640	40	4,6	53
Gras-Silage, Acker	9.822	2.938	254	36	2,5	46
Gras-Silage, Grünland	5.031	2.023	191	31	1,7	29
Stroh (Agrar-Reststoff)	769	758	6	8	0,7	11
Rest/Schwachholz	1.729	1.610	7	7	1,2	20
KUP Pappel	2.739	1.134	28	9	1,2	18
<b>für Importe*</b>						
EtOH aus Zuckerrohr	32.392	17.205	460	294	198	222
Palmöl	54.955	13.999	181	129	38	202

Quelle: GEMIS 4.8; \* = bei Importen sind Verarbeitung und Transport bis zur deutschen Grenze einbezogen

## 4 Ausgewählte Ergebnisse (Vorketten 2)

Bioenergieträger	Emission in g/MJ <sub>out</sub> , ohne Nutzung					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	MJ <sub>primär</sub> /MJ <sub>out</sub>
AME	7	6	0,013	0,012	0,0005	0,154
RME	56	22	0,719	0,123	0,0147	0,390
PME	60	20	0,233	0,146	0,0383	0,341
SME	14	12	0,117	0,070	0,0125	0,163
Rapsöl	12	11	0,106	0,063	0,0112	0,147
EtOH-Weizen*	50	26	0,680	0,096	0,0095	0,435
EtOH-Zuckerrübe**	29	15	0,597	0,057	0,0049	0,248
EtOH-Zuckerrohr-BR	33	18	0,461	0,296	0,1979	0,226
Holz-Stücke	0,1	0,1	0,000	0,000	0,0000	0,001
Holz-HHS	2	2	0,011	0,011	0,0014	0,030
Holz-HHS KUP	5	3	0,037	0,018	0,0025	0,041
Holz-Pellets	4	4	0,008	0,007	0,0005	0,055
Stroh-Ballen	1	1	0,007	0,010	0,0007	0,015
Biogas-Gülle	9	6	0,014	0,014	0,0009	0,079
Biogas-Mais	31	10	0,623	0,059	0,0066	0,146
Biogas-30% Gülle 70%Mais	25	9	0,473	0,046	0,0051	0,122
Biogas-Gras-Acker	25	11	0,404	0,069	0,0047	0,153
Biogas-Gras-Grünland	18	9	0,309	0,062	0,0036	0,132

Quelle: GEMIS 4.8; \* = bei Importen sind Verarbeitung und Transport bis zur deutschen Grenze einbezogen; \*\* = inländische Produktion

# 4 Ausgewählte Ergebnisse (Strom 1)

## Wind

System	Emission in g/kWh <sub>el</sub>					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	kWh/kWh <sub>el</sub>
Bestand	10,0	9,0	0,032	0,020	0,009	0,025
Moderater Standort	9,3	8,4	0,029	0,019	0,009	0,023
Guter Standort	5,4	4,9	0,018	0,011	0,005	0,014
Offshore	4,9	4,3	0,017	0,010	0,005	0,014

## Photovoltaik

System	Emission in g/kWh <sub>el</sub>					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	kWh/kWh <sub>el</sub>
Solar-PV-amorph	82,1	70,1	0,240	0,128	0,071	0,265
Solar-PV-CdTe	10,0	9,5	0,028	0,022	0,002	0,035
Solar-PV-CIGS	10,0	9,5	0,028	0,022	0,002	0,035
Solar-PV-mono	124,6	111,4	0,257	0,165	0,065	0,472
Solar-PV-multi	104,6	92,3	0,228	0,144	0,062	0,393



# 4 Ausgewählte Ergebnisse (Strom 2)

## Geothermie

System	Emission in g/kWh <sub>el</sub>					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	kWh/kWh <sub>el</sub>
Geothermie KWK NDB	233,2	221,6	0,337	0,261	0,033	0,894
Geothermie KWK ORG	224,7	213,8	0,311	0,243	0,026	0,868
Geothermie KWK SMB	223,6	212,8	0,308	0,240	0,025	0,864
Geothermie KW EGS	220,5	210,0	0,299	0,234	0,022	0,854
Geothermie KW NDB	232,8	221,3	0,336	0,260	0,033	0,893
Geothermie KW ORG	223,9	213,2	0,309	0,241	0,025	0,866
Geothermie KW SMB	222,9	212,2	0,306	0,239	0,024	0,862

## Biogene Strombereitstellung

System	Emission in g/kWh <sub>el</sub>					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	kWh <sub>primär</sub> /kWh <sub>el</sub>
Biogas (Gülle), Gas-BHKW	188	36	0,852	0,509	0,0161	0,139
Biogas (Mais), Gas-BHKW	402	63	4,691	0,789	0,0519	0,257
Biogas (Weizen), Gas-BHKW	394	66	4,286	0,780	0,0569	0,266
Biogas (org. Müll), Gas-BHKW	179	28	0,806	0,456	0,0137	0,107
Biogas (Grasschnitt), Gas-BHKW	363	66	3,310	0,853	0,0401	0,269
Klärgas, Gas-BHKW	6	0	0,469	0,673	0,0187	0,000
Deponiegas, Gas-bHKW	3	0	0,670	0,639	0,0032	0,000
Rapsöl-Diesel-BHKW	307	100	7,147	4,575	0,0920	0,430
Palmöl- Diesel-BHKW	338	87	3,924	4,752	0,2348	0,347
Biomüll-DT-HKW	11	2	0,596	0,855	0,0054	0,003
Altholz- DT-HKW	14	9	1,028	1,423	0,0762	0,035
Holz-IND- DT-HKW	2	0	0,760	0,699	0,0131	0,000
Holz-HS- Wald- DT-HKW	17	14	0,835	0,773	0,0624	0,051
Holz-Pellet-ORC-HKW	37	33	0,669	0,531	0,1394	0,135

# 4 Ausgewählte Ergebnisse (Wärme)

## Wärmepumpe

System	Emission in g/kWh <sub>el</sub>					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	kWh/kWh <sub>el</sub>
WP Luft neu	210,5	201,1	0,304	0,215	0,018	0,840
WP Luft Bestand	240,4	229,7	0,346	0,244	0,020	0,960
WP Sole Neu	177,8	169,8	0,272	0,194	0,018	0,699
WP Sole Bestand	201,0	192,0	0,305	0,217	0,020	0,793

## Holz

System	Emission in g/MJ <sub>th</sub>					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	MJ <sub>primär</sub> /MJ <sub>th</sub>
Holz-Stücke HH	5	2	0,079	0,054	0,0517	0,028
Holz-HS-Wald HH&KV	6	5	0,108	0,106	0,0401	0,069
Holz-Pellet HH&KV	7	6	0,096	0,081	0,0181	0,095
Holz-HS-KUP HH&KV	9	6	0,137	0,113	0,0314	0,080
Holz-IND	0	0	0,123	0,113	0,0021	0,000
Holz-HS Wald IND	6	6	0,103	0,080	0,0103	0,082
Holz-Pellet IND	7	7	0,097	0,077	0,0199	0,098

## Solar

System	Emission in g/MJ <sub>th</sub>					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	MJ <sub>primär</sub> /MJ <sub>th</sub>
Solar-Kollektor flach	23	21	0,067	0,042	0,0165	0,078
Solar-Kollektor Vakuumröhre	33	29	0,097	0,057	0,0264	0,113
Solar-Kollektor Schwimmbad	20	19	0,041	0,035	0,0027	0,068

## 4 Ausgewählte Ergebnisse (Kraftstoffe)

### Flüssige Energieträger

Bioenergieträger	Emission in g/MJ <sub>out</sub> , ohne Nutzung					KEV <sub>NE</sub>
	CO <sub>2</sub> Äq	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> Äq	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	MJ <sub>primär</sub> /MJ <sub>out</sub>
AME	7	6	0,013	0,012	0,0005	0,154
RME	56	22	0,719	0,123	0,0147	0,390
PME	60	20	0,233	0,146	0,0383	0,341
SME	14	12	0,117	0,070	0,0125	0,163
Rapsöl	12	11	0,106	0,063	0,0112	0,147
EtOH-Weizen	50	26	0,680	0,096	0,0095	0,435
EtOH-Zuckerrübe	29	15	0,597	0,057	0,0049	0,248
EtOH-Zuckerrohr-BR*	33	18	0,461	0,296	0,1979	0,226

Hinweis:

Bei der Nutzung fallen weitere Emissionen bei NO<sub>x</sub> und Staub an

# 5 Anwendbarkeit Daten

---

- Vorkettendaten für Materialeinsatz und Hilfsenergie (Strom) entspricht nationalem Mix
- Strom-nutzende Systeme werden mit nationalem Mix bilanziert
- Keine Aussage über zeitliche Verfügbarkeit der erzeugten Energie
- Nur teilweise Berücksichtigung von Abregelung, Fehler insbesondere bei:
  - Erzeugung erneuerbarer Strom zeitweise höher als Bedarf
  - Limitierung im Netz, must-run Kraftwerke, Lastgradienten
- Keine indirekten Landnutzungsänderungen

# Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

---

**Lothar Rausch**

**Öko-Institut e.V.**

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7

10179 Berlin

+49 (30) 405085-148

[l.rausch@oeko.de](mailto:l.rausch@oeko.de)

Endbericht: <http://www.oeko.de/oekodoc/1621/2012-467-de.zip>

GEMIS: [www.gemis.de](http://www.gemis.de)