

---

# CO<sub>2</sub>-MINDERUNG DURCH ERNEUERBARE ENERGIEN IM STROMSEKTOR

Ergebnisse des Gutachtens für 2010 und 2011  
Marian Klobasa, Frank Sensfuß, Fraunhofer ISI,  
Berlin, 17.10.2013

---



---

# Agenda

---

---

- Methodischer Ansatz
- Eingangsdaten
- Substitutionsfaktoren, CO<sub>2</sub>-Minderungen
- Vergleich mit vorhergehenden Gutachten
- Einfluss des Referenzkraftwerkparcs
- Schlussfolgerungen

---

# Vorgehensweise

---

- Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Stromsektor durch erneuerbare Energien
- Zuordnung der Einsparungen zu den einzelnen Sparten der erneuerbaren Energien, Basis sind charakteristische Einspeiseprofile
- Ableitung der CO<sub>2</sub>-Einsparung aus substituierter Stromerzeugung in konventionellen Kraftwerken auf Basis von fossilen Brennstoffen
- Effekte durch fluktuierende Einspeisung werden pauschal für Wind und PV berücksichtigt.
- Keine Berücksichtigung von indirekten Emissionen (z. B. durch Bau, Transport oder Entsorgung), keine Berücksichtigung von anderen vermiedenen Emissionen (z. B. Methan)
- Berechnung mit Hilfe einer modellgestützten Simulation (PowerACE)

---

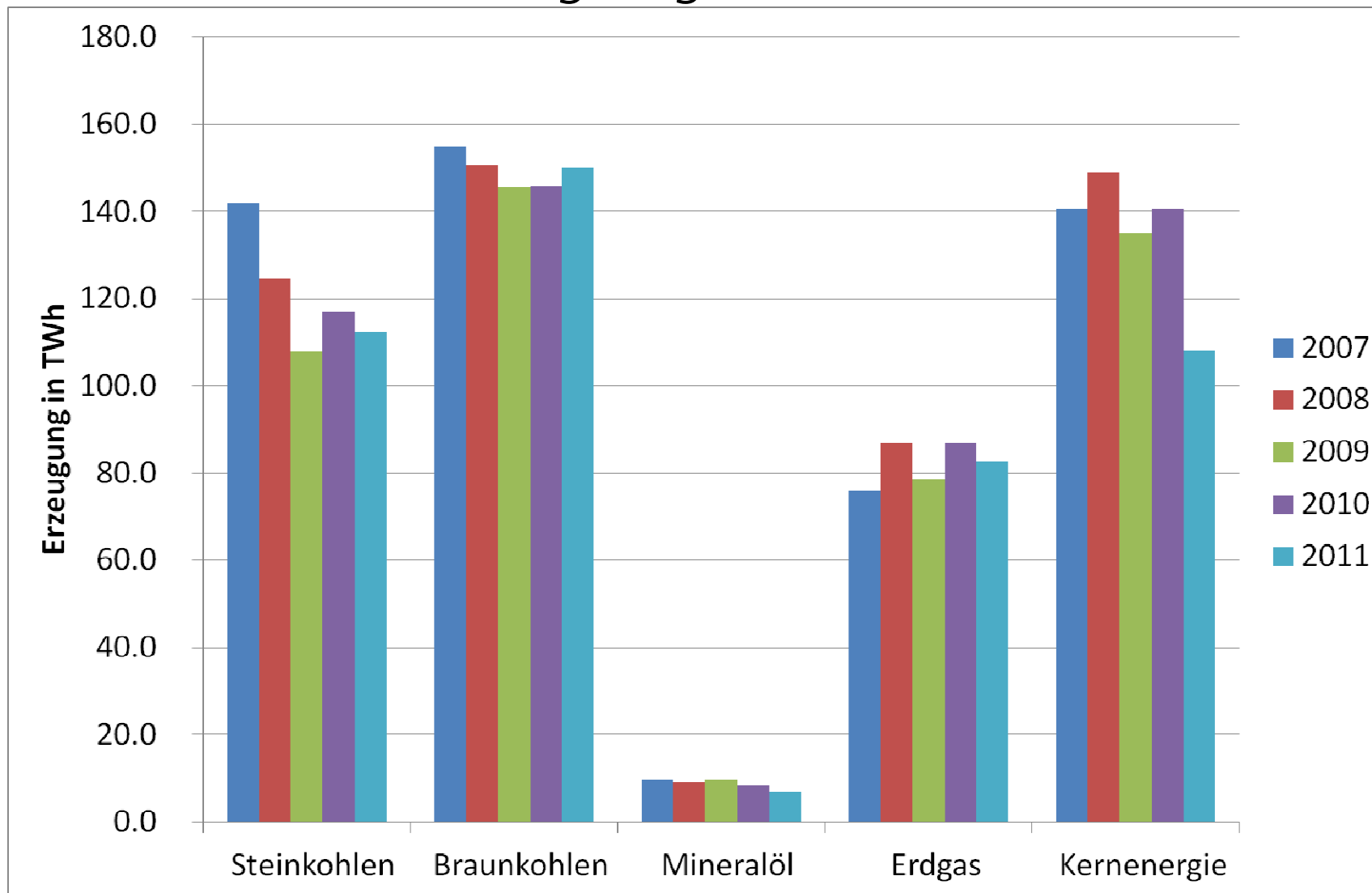
# PowerACE-Simulationsmodells

- Einsatz eines zeitlich hochaufgelösten Kraftwerkseinsatzmodells mit blockscharfer Abbildung der einzelnen Kraftwerke
- Abbildung der Stromnachfrage und der Einspeisung der erneuerbaren Energien mit Jahreszeitreihen in stündlicher Auflösung
  - Datenquellen sind Veröffentlichungen der Netzbetreiber bzw. ENTSO-E, statistisches Bundesamt, AGEE-Stat, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
  - Lastprofile der erneuerbaren Energien werden in Klassen abgebildet (Wind, PV, Wasserkraft, Biomasse)
- Einsatz der Kraftwerke erfolgt auf Basis der kurzfristigen Grenzkosten. Anfahrkosten werden mit berücksichtigt
- Stromimport/-export und Erzeugung aus KWK werden berücksichtigt

# Methodischer Ansatz

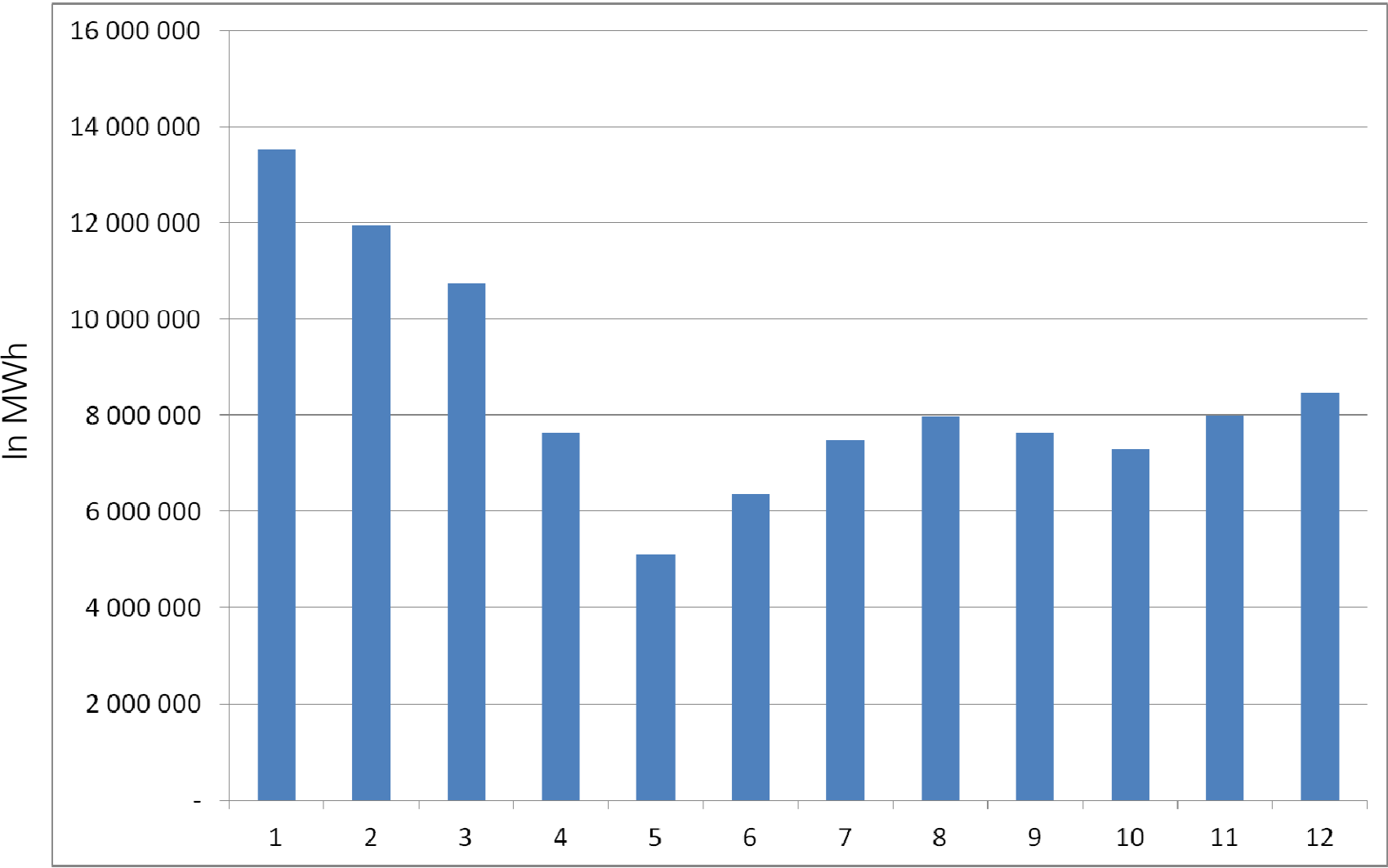
Variationsrechnungen	Reihenfolge der Erzeugung aus erneuerbaren Energien					Mittelwerte
	1	2	3	4	5	
1. Wind auf Position 1	<b>Wind</b>	x				M1
2. Wind auf Position 2 (4 Variationen)	PV	<b>Wind</b>		x		M2
	Bio1	<b>Wind</b>		x		
	Bio2	<b>Wind</b>		x		
	Wasser	<b>Wind</b>		x		
3. Wind auf Position 3 (6 Variationen)	Bio1, PV		<b>Wind</b>		x	M3
	Bio1, Wasser		<b>Wind</b>		x	
	...		...		...	
4. Wind auf Position 4 (4 Variationen)	Bio1, Bio2, Wasser			<b>Wind</b>	x	M4
	Bio1, Bio2, PV			<b>Wind</b>	x	
	Bio2, Wasser, PV			<b>Wind</b>	x	
	Bio1, PV, Wasser			<b>Wind</b>	x	
5. Wind auf Position 5	alle anderen Erneuerbaren				<b>Wind</b>	M5
				Endergebnis CO <sub>2</sub> -Einsparung Wind	<b>Mittelwert aus M1 bis M5</b>	

# Bruttostromerzeugung



Quelle: AG Energiebilanzen

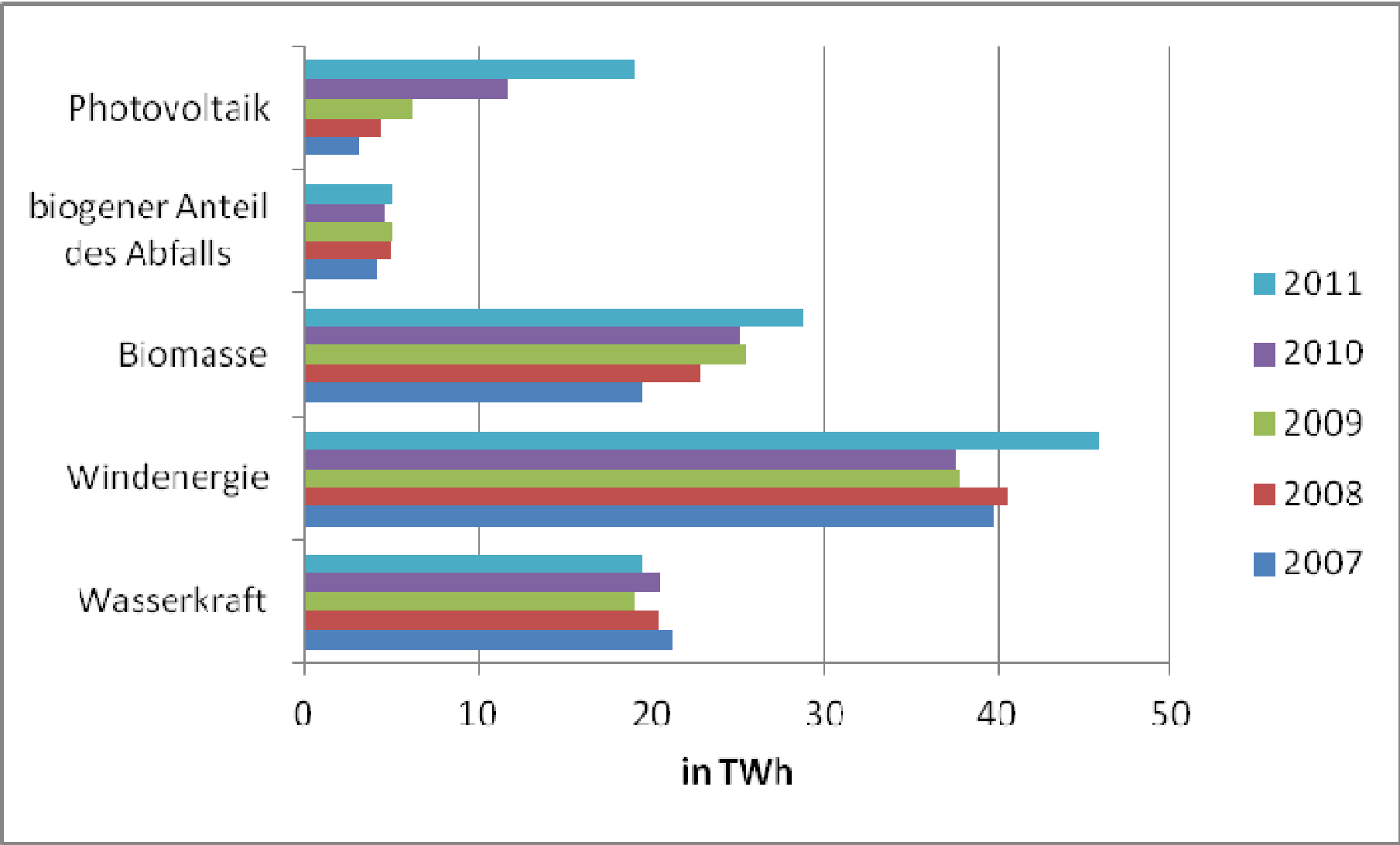
# Stromerzeugung Kernenergie 2011 (MWh)



Quelle: Destatis

Monate

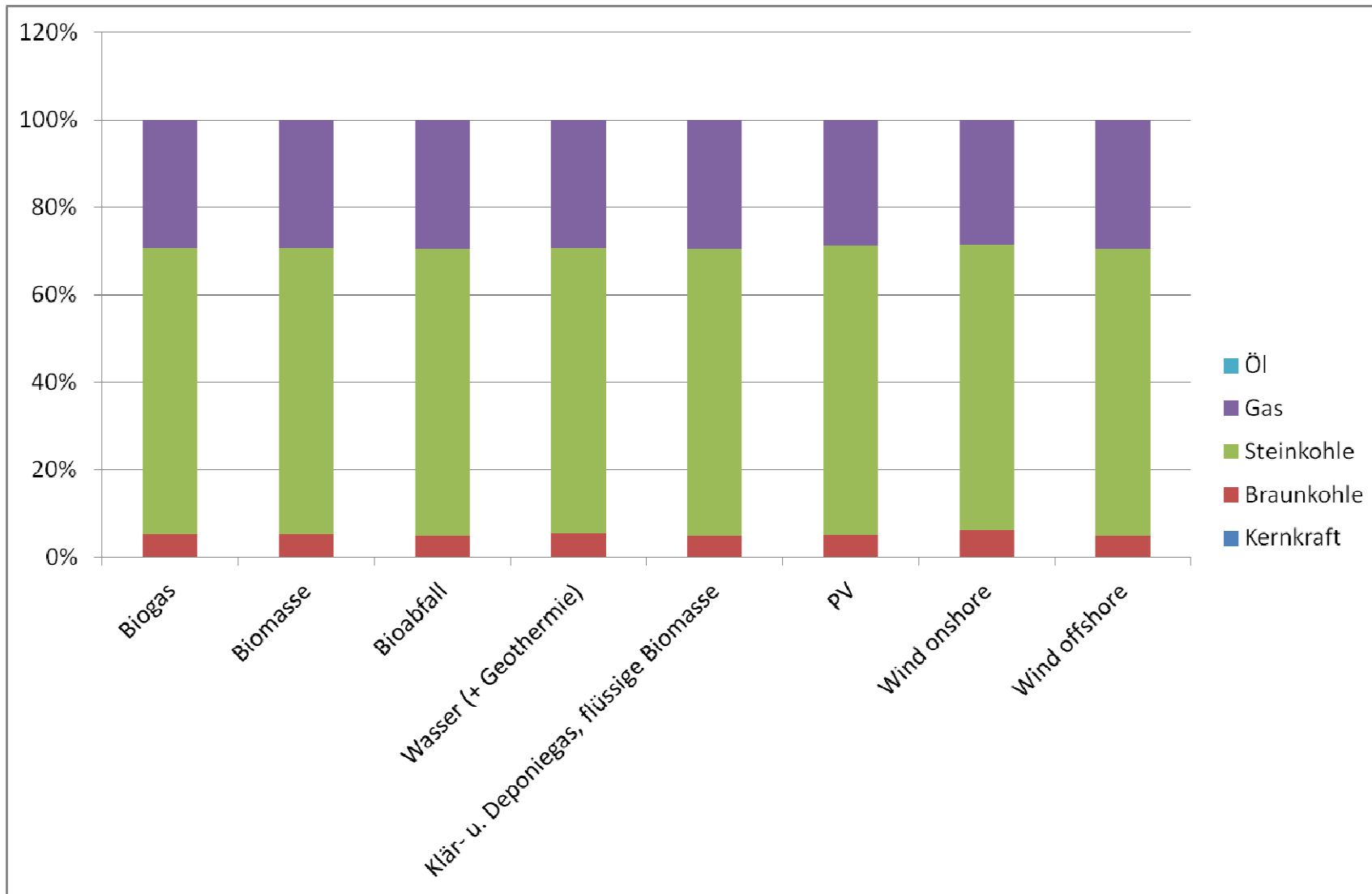
# Einspeisung erneuerbare Energien



Quelle: AGEE Stat

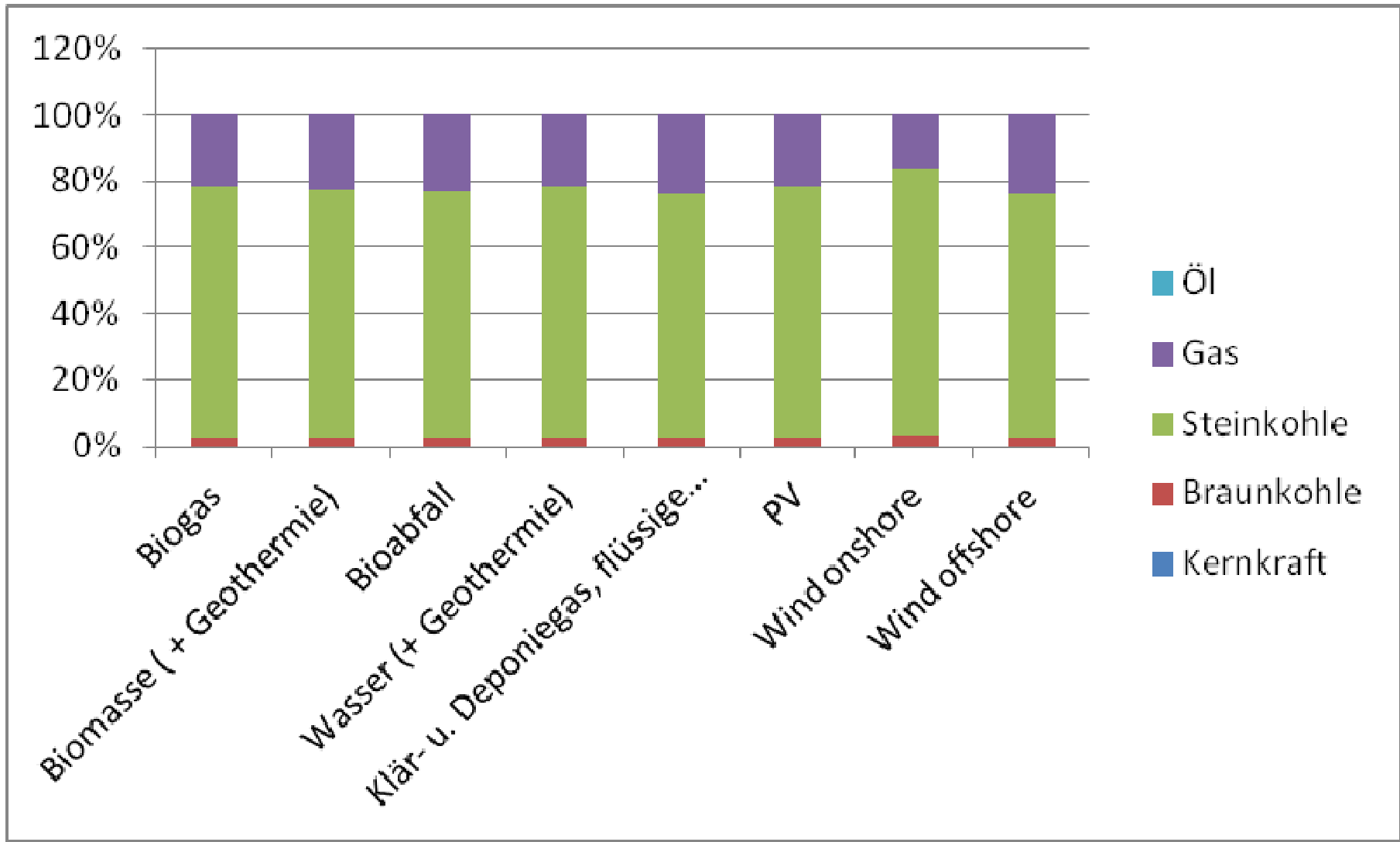


# Substitutionsfaktoren 2010



Quelle: eigene Darstellung

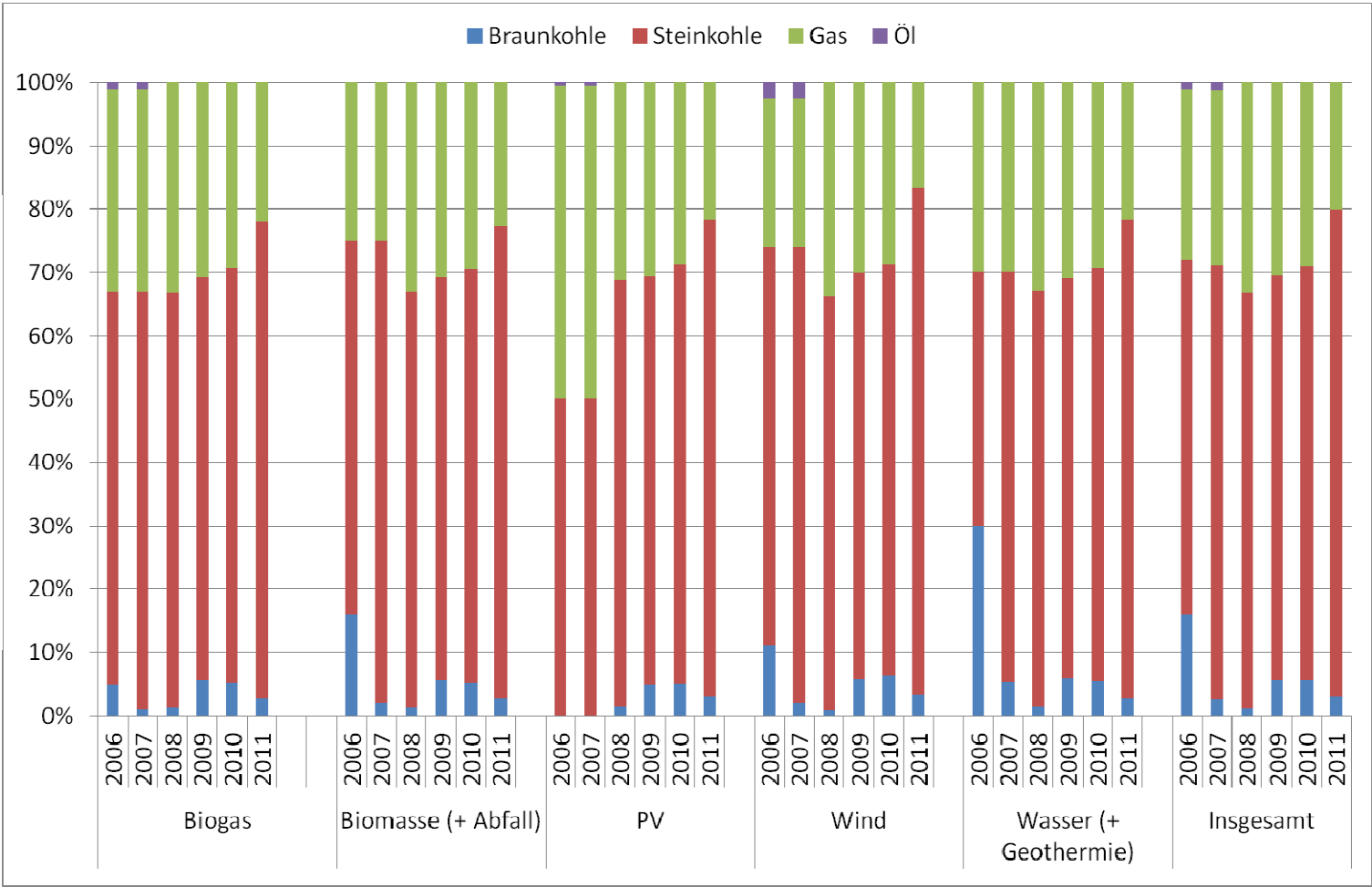
# Substitutionsfaktoren 2011



Quelle: eigene Darstellung

# Substitutionsfaktoren 2006 - 2011

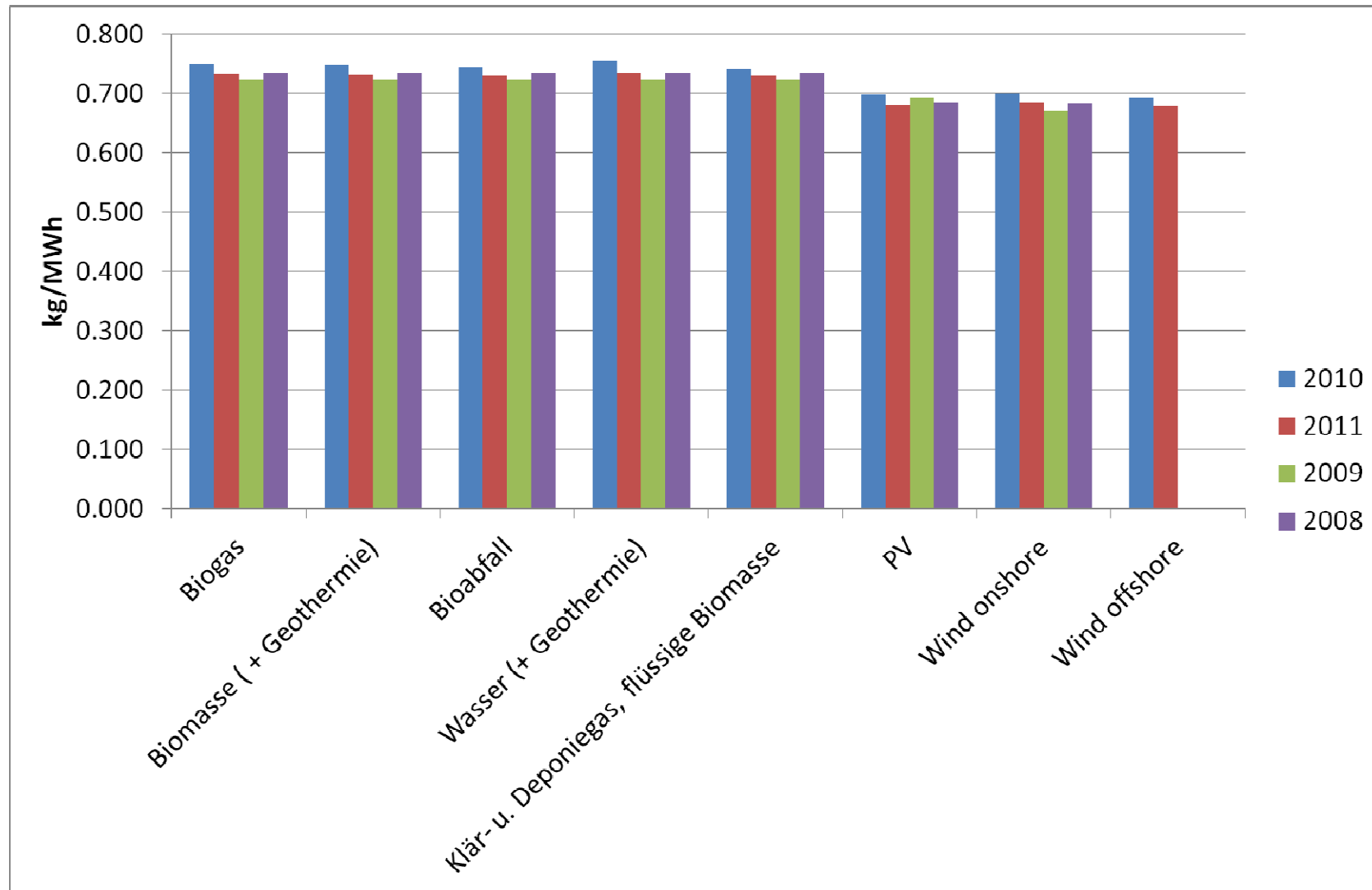
Kernenergie:  
 2006: 167 TWh  
 2007: 141 TWh  
 2008: 149 TWh  
 2009: 134 TWh  
 2010: 141 TWh  
 2011: 108 TWh



2007 und 2008 stark steigende Energiepreise für Kohle und Erdgas

Quelle: eigene Darstellung

# CO<sub>2</sub> Einsparfaktoren 2006-2011



Quelle: eigene Darstellung

# CO<sub>2</sub>-Minderung 2008

	<b>Strommenge 2008*</b> [GWh]	<b>CO<sub>2</sub>- Minderungs- faktor</b> [kg/kWh <sub>el</sub> ]	<b>Vermiedene Emissionen</b> [Mio. t CO <sub>2</sub> ]
Wasserkraft	20.446	0,723	14,8
Windenergie	40.574	0,671	27,2
Photovoltaik	4.420	0,692	3,1
Biogene Festbrennstoffe (inkl. biogener Abfall)	16.268	0,722	11,7
Biogene flüssige Brennstoffe	1.443	0,722	1,0
Biogas	8.139	0,722	5,8
Klär- und Deponiegas	1.962	0,722	1,4
Geothermie	18	0,723	0,01
<b>Gesamt</b>	<b>93.269</b>	<b>0,699</b>	<b>65,2</b>
* Strommenge nach BMU, nur Berücksichtigung von direkten Emissionen im Betrieb			

Quelle: eigene Darstellung

# CO<sub>2</sub>-Minderung 2009

	<b>Strommenge 2009*</b> [GWh]	<b>CO<sub>2</sub>- Minderungs- faktor</b> [kg/kWh <sub>el</sub> ]	<b>Vermiedene Emissionen</b> [Mio. t CO <sub>2</sub> ]
Wasserkraft	19.094	0,734	14,0
Windenergie	38.580	0,683	26,4
Photovoltaik	6.578	0,685	4,5
Biogene Festbrennstoffe (inkl. biogener Abfall)	17.037	0,734	12,5
Biogene flüssige Brennstoffe	1.450	0,734	1,1
Biogas	10.500	0,734	7,7
Klär- und Deponiegas	1.957	0,734	1,4
Geothermie	19	0,734	0,01
<b>Gesamt</b>	<b>95.215</b>	<b>0,710</b>	<b>67,6</b>
* Strommenge nach BMU, nur Berücksichtigung von direkten Emissionen im Betrieb			

Quelle: eigene Darstellung

---

# CO<sub>2</sub> Minderung 2010

	Erzeugung in GWh	Emissionsfaktor	Einsparung in Mt
Biogas	13300	0.749	10
Biomasse	11800	0.749	9
Abfall	4651	0.743	3
Wasserkraft	20630	0.754	16
Andere	3609	0.741	3
PV	11683	0.697	8
wind onshore	37615	0.700	26
wind offshore	174	0.692	0
Gesamt	103461.691	0.726	75

Quelle: eigene Darstellung

---

# CO<sub>2</sub> Minderung 2011

---

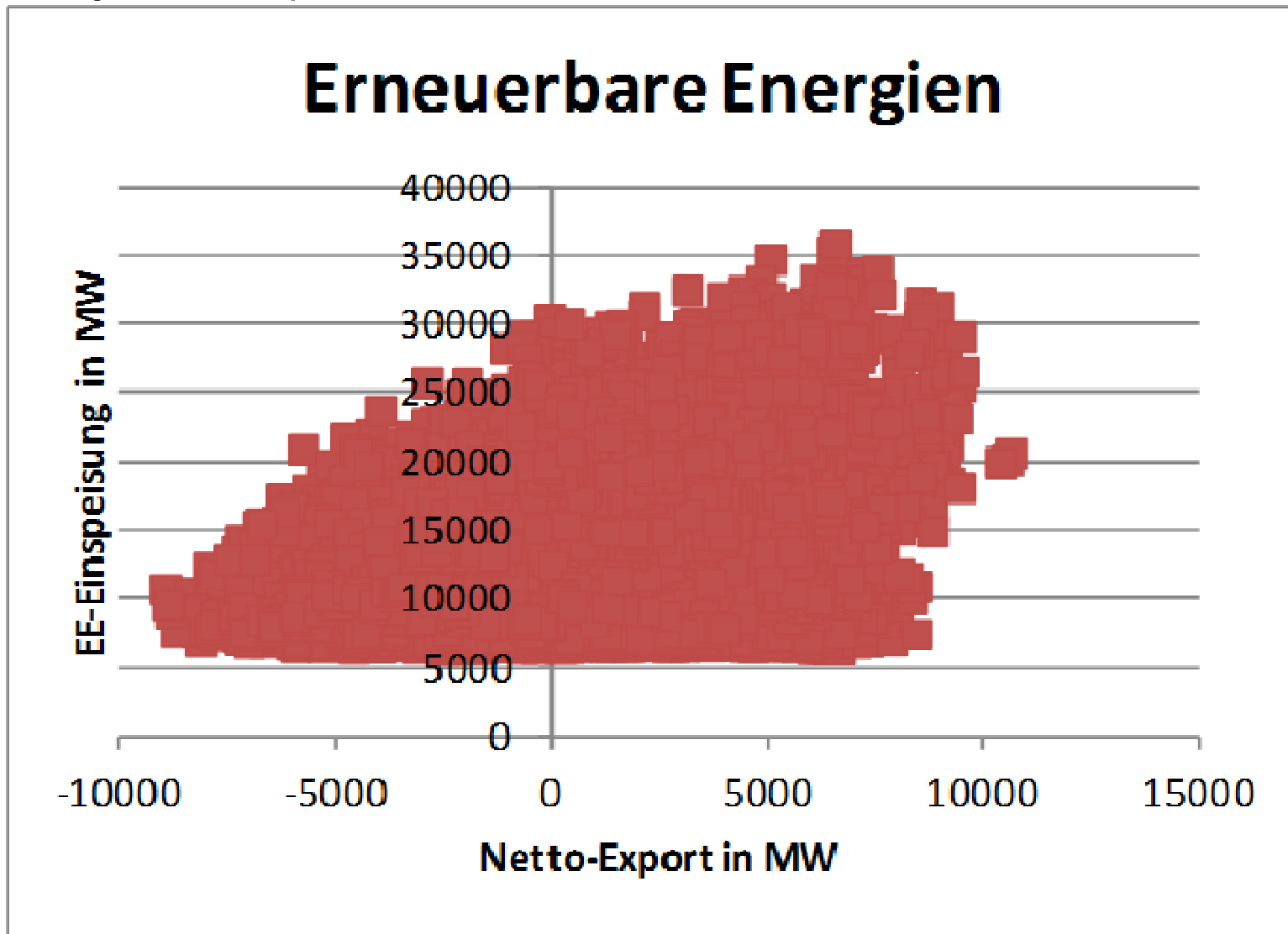
---

	Erzeugung in GWh	Emissionsfaktor	Einsparung in Mt
Biogas	17500	0.733	13
Biomasse	11300	0.732	8
Abfall	5000.03	0.730	4
Wasserkraft	19499.8	0.734	14
Andere	3138.81	0.730	2
PV	19000	0.680	13
wind onshore	45940	0.684	31
wind offshore	560	0.679	0
<b>Gesamt</b>	<b>121938.64</b>	<b>0.706</b>	<b>86</b>

Quelle: eigene Darstellung

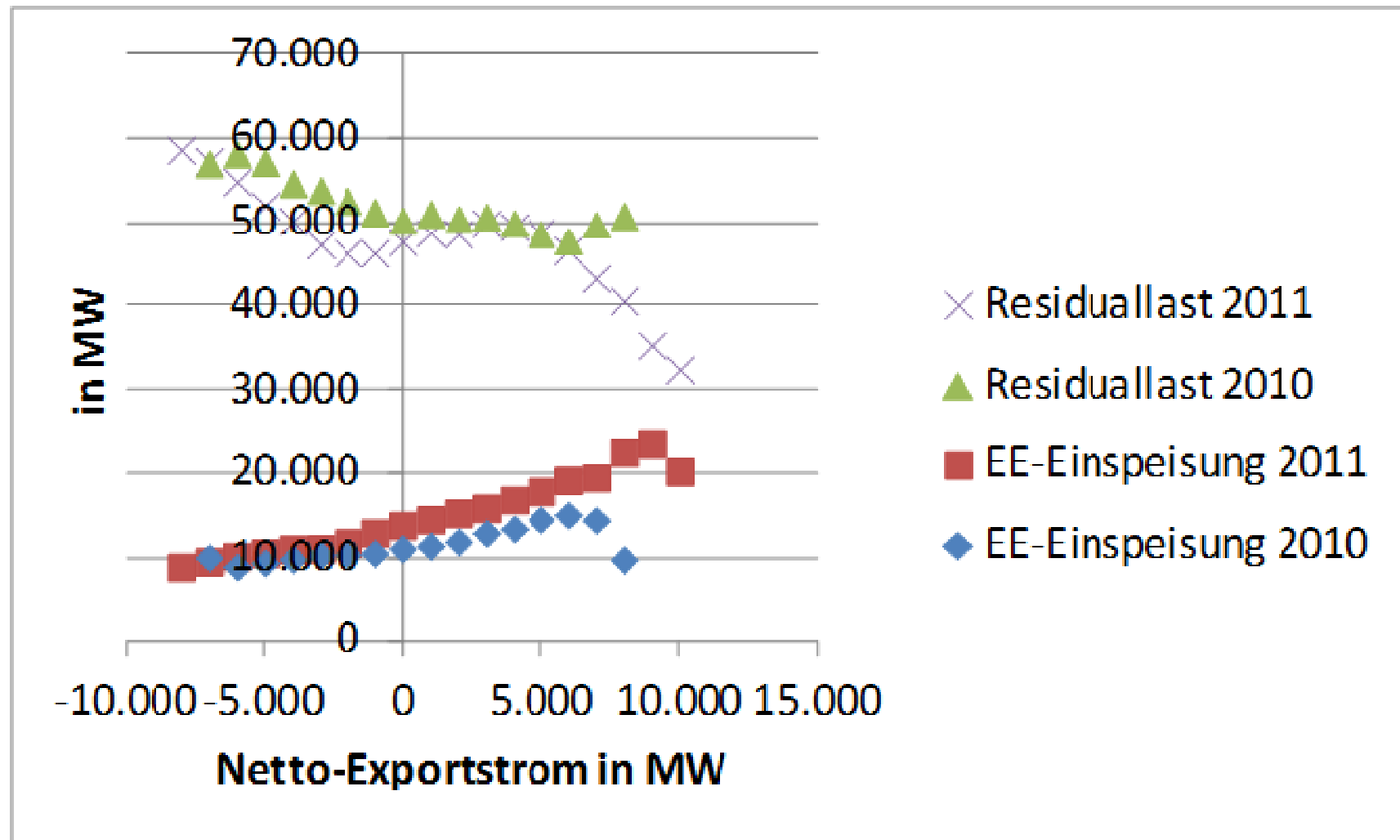


# Analyse Exporte 2010 und 2011



Quelle: eigene Darstellung

# Analyse Exporte 2010 und 2011



Quelle: eigene Darstellung

---

# Schlussfolgerungen

---

- Substitution vor allem bei Mittel- und Spitzenlastkraftwerken
- Substitutionsfaktoren für einzelne erneuerbaren Technologien verändern sich geringfügig
- CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen hängen von Annahmen zum Referenzkraftwerkspark ab, implizit wird jetzt auch eine Modernisierung des Referenzkraftwerksparks unterstellt.
- Substitution von Braunkohlekraftwerken auf Grund gesteigener Einspeisung aus Kernenergie in 2010 höher.
- In 2011 kaum Verdrängung von Braunkohle auf Grund Kernkraftmoratorium.
- Insbesondere seit 2011 steigender Einfluss der Import-/Exportströme auf CO<sub>2</sub>-Minderung

---

# Weitere Informationen

---

---

Dr. Marian Klobasa, Dr. Frank Sensfuß  
Fraunhofer Institut für System und  
Innovationsforschung, Karlsruhe

Kontakt:

[M.Klobasa@isi.fraunhofer.de](mailto:M.Klobasa@isi.fraunhofer.de)

---

# Verfahren zur Ermittlung der Leistung im Counterfactual Szenario (2010/2011)

---

- Residuallast (R1) mit und ohne EE (R2) wird bestimmt
- Ermittlung der 10 höchsten Werte in (R1) und (R2)
- Leistungsbedarf ergibt sich als Mittelwert der 10 Werte
- Ausnahme 2011 wg. Kernenergieausstieg wird die Leistung durch Lösbarkeit des Modells bestimmt
- 5GW werden als Altkraftwerke unterstellt
- Aufteilung 70% SK, 15% GUD, 15% GT

---

# Zusätzliche Kraftwerksleistung

## Referenzfall 2010

---

Kraftwerkstyp	Jahr	Leistung in MW	Wirkungsgrad
Steinkohle-Alt	2010	3500	35%
Steinkohle	2010	3500	45%
Gas-GUD-Alt	2010	750	50%
Gas-GUD	2010	750	58%
Gas-GT-Alt	2010	750	30%
Gas-GT	2010	750	40%
<b>Gesamt</b>	-	<b>10000</b>	-

---

# Zusätzliche Kraftwerksleistung im Referenzfall 2011

---

---

Kraftwerkstyp	Jahr	Leistung in MW	Wirkungsgrad
Steinkohle-Alt	2011	3500	35%
Steinkohle	2011	4400	45%
Gas-GUD-Alt	2011	750	50%
Gas-GUD	2011	950	60%
Gas-GT	2011	750	30%
Gas-GT	2011	950	40%
<b>Gesamt</b>	-	<b>11300</b>	-