

„Evolution oder Revolution - Zur Transformation des bundesdeutschen Stromsystems in den nächsten Jahrzehnten“

**Vortrag im Rahmen des Institutskolloquiums des
Max- Planck-Instituts für Plasmaphysik**

**Prof. Dr. Uwe Leprich
Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES)
Greifswald, den 13. Februar 2015**

- seit April 1995 Professor an der HTW in Saarbrücken, zuständig für Wirtschaftspolitik
- 1999 Mitbegründer des Instituts für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) als An-Institut der HTW, seit 2008 wissenschaftlicher Leiter des IZES
- sachverständiges Mitglied der Enquete-Kommission des 14. Deutschen Bundestages 2001-2002
- seit Januar 2010 Alternate Board Member of the Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER) der EU
- seit Oktober 2012 Mitglied des Beirates für nachhaltige Entwicklung des Landes Baden-Württemberg
- seit Oktober 2013 Vorsitzender des Energiebeirats Rheinland-Pfalz



Die IZES gGmbH

IZES gGmbH – Institut für ZukunftsEnergieSysteme



1. Eckpunkte der Systemtransformation: Die Energiewende aus Sicht der Bundesregierung

20-20-20-Ziele der EU bis 2020

Quelle: Thomas Netsch



20% CO₂-Reduktion im Vergleich zu 1990



Quelle: Greenpeace

20% Energieeinsparung im Vergleich zum Szenario „Business as usual“



Quelle: Stiftung Offshore Windenergie

20% Anteil erneuerbarer Energien an Primärenergie

Beschluss des Europäischen Rates im März 2007

Ziele der Energiewende in D

	2020	2025	2035	2050
Treibhausgasemissionen	-40%			-80-95%
Effizienz				
* KWK	25%			
Erneuerbare Energien				
* am Bruttostromverbrauch		-40-45%	-55-60%	
* am Bruttoendenergieverbr.	18%			

**Effizienzziele? → s. Nationaler Aktionsplan
Energieeffizienz 2014 und Aktionsprogramm Klimaschutz
2020**

10-Punkte-Energie-Agenda des BMWi

Wichtigste Projekte Energiewende

	2014												2015												2016											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
EEG	EEG 2.0			VO Ausschreibungspilot			Pilotauctionen + Bau						Erfahrungsbericht			EEG 3.0 (Ausschreibungen)																				
EU 2030/ETS	EU 2030-Ziele				Entwicklung Governance 2030								Verhandlung neuer EU-Rechtsrahmen (EE, ETS etc.)																							
	Reform ETS (Marktstabilitätsreserve) und Post 2020																																			
Strommarktdesign	Gutachten			Grünbuch			Weißbuch			Marktdesign-Gesetz (EnWG-Novelle)																										
Effizienzstrategie	Aktionsplan Energieeffizienz				Umsetzung Aktionsplan Energieeffizienz inkl. EED-Umsetzung																															
Gebäudestrategie	Erarbeitung Sanierungsfahrplan				Erarbeitung ganzheitliche Gebäudestrategie						ENEV Prozess & EEWärmeG																									
Übertragungsnetze	Szenariorahmen 2015				Netzentwicklungsplan 2015						Novelle Bundesbedarfsplangesetz																									
Verteilernetze	Evaluierung ARegV						Novelle ARegV																													
Monitoring	Fortschrittsbericht				Monitoringbericht 2015						Monitoringbericht 2016																									

2. „Schocks“ der Vergangenheit und prognostizierte Entwicklung

Externe “Schocks” haben in der Vergangenheit für entscheidende Weichenstellungen gesorgt

Die beiden Ölpreis-
krisen in den 70ern

Tschernobyl / Fukushima

Treibhauseffekt / Kyoto-
Protokoll

Liberalisierung des
Stromsektors

Die weitere technische Entwicklung: eher Evolution!

Erneuerbare Energien

- Wind On- und Offshore
- Photovoltaik

werden noch kostengünstiger

Backups / Flexibilitäten

- konventionelle Kraftwerke
- KWK-Anlagen
- Nachfragerverhalten

werden sich immer mehr
flexibilisieren

Stromnetze

- Hochtemperatur-Leiteseile
- Regelbare Ortsnetzstationen
- Teilverkabelungen

werden zu flexibleren Netzlösungen beitragen

Stromeffizienz

- Motoren
- elektrische Geräte
- Informations- und Kommunikationstechnologien

werden kontinuierlich effizienter

Die weitere technische Entwicklung: Revolutionen?

Erneuerbare Energien

- Biokohle
 - Wellenkraftwerke
 - Energieernten (“Energy harvesting”)
- werden auf unabsehbare Zeit keine große Rolle spielen

Speicher

- Steuerbare Akkus in Elektro-mobilen
 - Power-to-gas/Methan
 - Große Hydraulikspeicher
- werden auf unabsehbare Zeit keine große Rolle spielen

Stromnetze

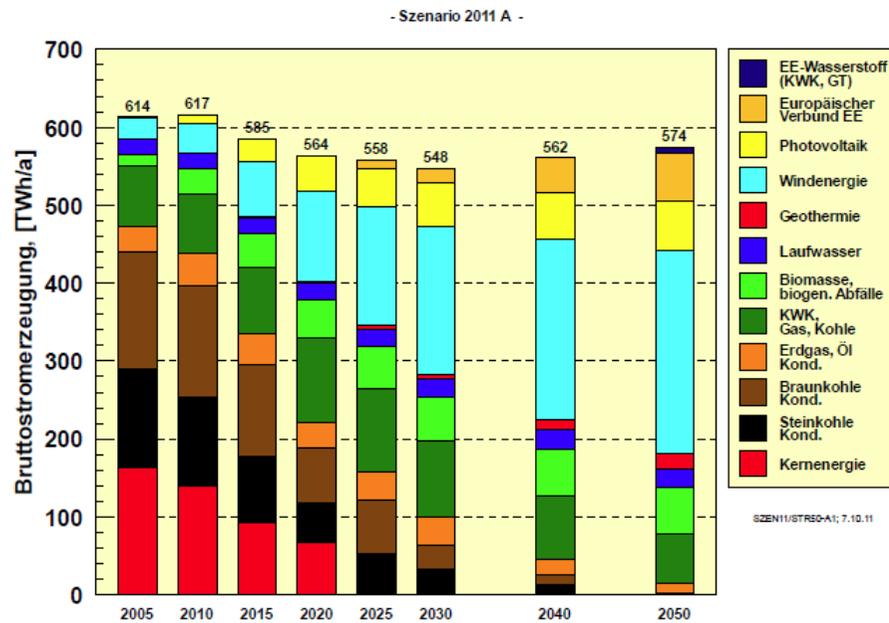
- Netzfragmentierungen (“Microgrids”)
 - Supraleitungen
 - drahtlose Stromübertragung
- werden auf unabsehbare Zeit keine oder keine große Rolle spielen

Joker

- Kleine dezentrale Kernkraftwerke
 - Algen
 - Kernfusion
- sollte man besser nicht fest einplanen!

Leitstudie 2011 (DLR/IWES/IFNE 2012)

Netzentwicklungsplan 2014



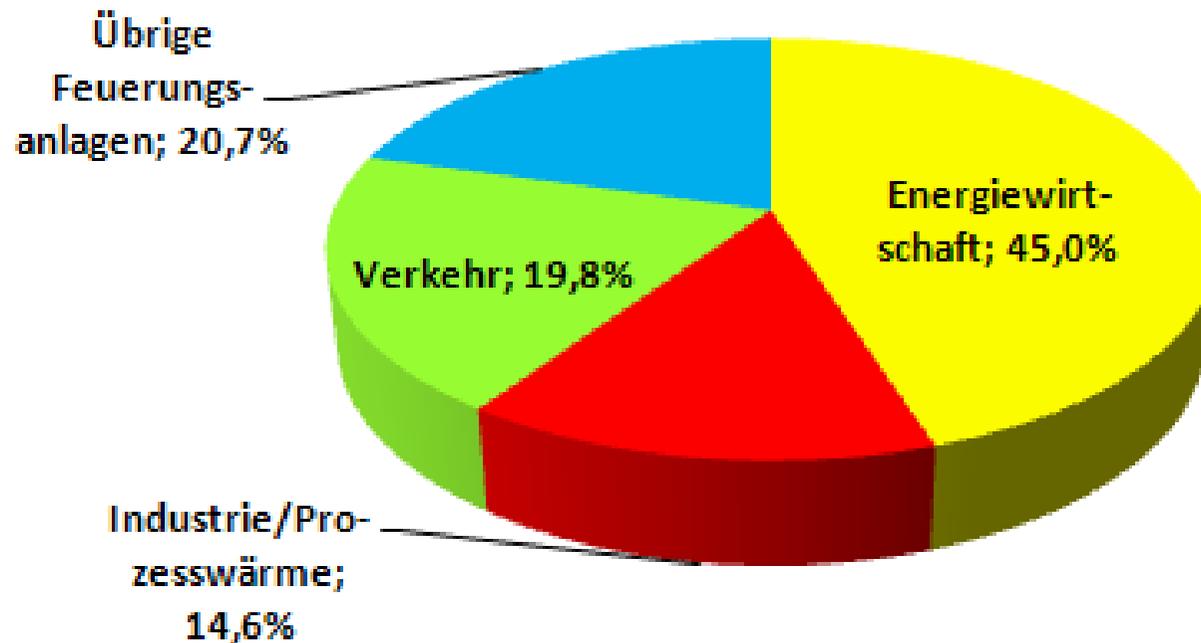
Quelle: DLR/IWES/IFNE 2012

Tabelle 3: Erzeugungskapazitäten in den genehmigten Szenarien

Netto Nennleistung in GW	Referenz 2012	A 2024		B 2024		B 2034		C 2024						
		BNetzA	A 2023	BNetzA	Diff. zu A 2023	B 2023	BNetzA	Diff. zu B 2023	B 2033	BNetzA	Diff. zu B 2023	C 2023	BNetzA	Diff. zu B 2023
Kernenergie	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	21,2	18,0	16,0	↓ -2,0	17,6	15,4	↓ -2,2	11,8	11,3	↓ -0,5	17,6	15,4	↓ -2,2	
Steinkohle	25,4	31,9	27,2	↓ -4,7	25,7	25,8	↑ 0,1	20,2	18,4	↓ -1,8	25,7	25,8	↑ 0,1	
Erdgas	27,0	23,2	23,3	↑ 0,1	33,0	28,2	↓ -4,8	41,0	37,5	↓ -3,5	33,0	28,2	↓ -4,8	
Mineralölprodukte	4,0	2,7	1,8	↓ -0,9	2,7	1,8	↓ -0,9	1,0	1,1	↑ 0,1	2,7	1,8	↓ -0,9	
Speicher (inkl. Pumpspeicher)	6,4	11,0	10,0	↓ -1,0	11,0	10,0	↓ -1,0	11,0	10,7	↓ -0,3	11,0	10,0	↓ -1,0	
sonstige konv. Erzeugung	4,1	3,3	3,7	↑ 0,4	3,3	3,7	↑ 0,4	2,3	2,7	↑ 0,4	3,3	3,7	↑ 0,4	
Summe konv. Erzeugung	100,2	90,1	82,0	↓ -8,1	93,3	84,9	↓ -8,4	87,3	81,7	↓ -5,6	93,3	84,9	↓ -8,4	
Wind onshore	31,0	45,7	49,0	↑ 3,3	49,3	55,0	↑ 5,7	66,3	72,0	↑ 5,7	86,0	87,4	↑ 1,4	
Wind offshore	0,3	10,3	11,5	↑ 1,2	14,1	12,7	↓ -1,4	25,3	25,3	0,0	17,8	16,1	↓ -1,7	
Photovoltaik	33,1	55,3	54,8	↓ -0,5	61,3	56,0	↓ -5,3	65,3	59,5	↓ -5,8	55,6	58,6	↑ 3,0	
Biomasse	5,7	8,1	8,3	↑ 0,2	8,5	8,7	↑ 0,2	9,0	9,2	↑ 0,2	7,3	7,8	↑ 0,5	
Wasserkraft	4,4	4,5	4,5	0,0	4,8	4,7	↓ -0,1	5,0	5,0	0,0	4,8	4,2	↓ -0,6	
sonstige reg. Erzeugung	0,8	1,0	0,9	↓ -0,1	1,5	1,5	0,0	2,3	2,3	0,0	1,4	1,3	↓ -0,1	
Summe reg. Erzeugung	75,3	124,9	129,0	↑ 4,1	139,5	138,6	↓ -0,9	173,2	173,3	↑ 0,1	172,9	175,4	↑ 2,5	
Summe konv. und reg. Erzeugung	175,5	215,0	211,0	↓ -4,0	232,8	223,5	↓ -9,3	260,5	255,0	↓ -5,5	266,2	260,3	↓ -5,9	

3. Das künftige Stromsystem

Energiebedingte CO₂-Emissionen in Deutschland 2010 (Prognose)



Quelle: UBA 2011

Das strompolitische Zieldreieck der Bundesregierung

40-45% Erneuerbare bis 2025

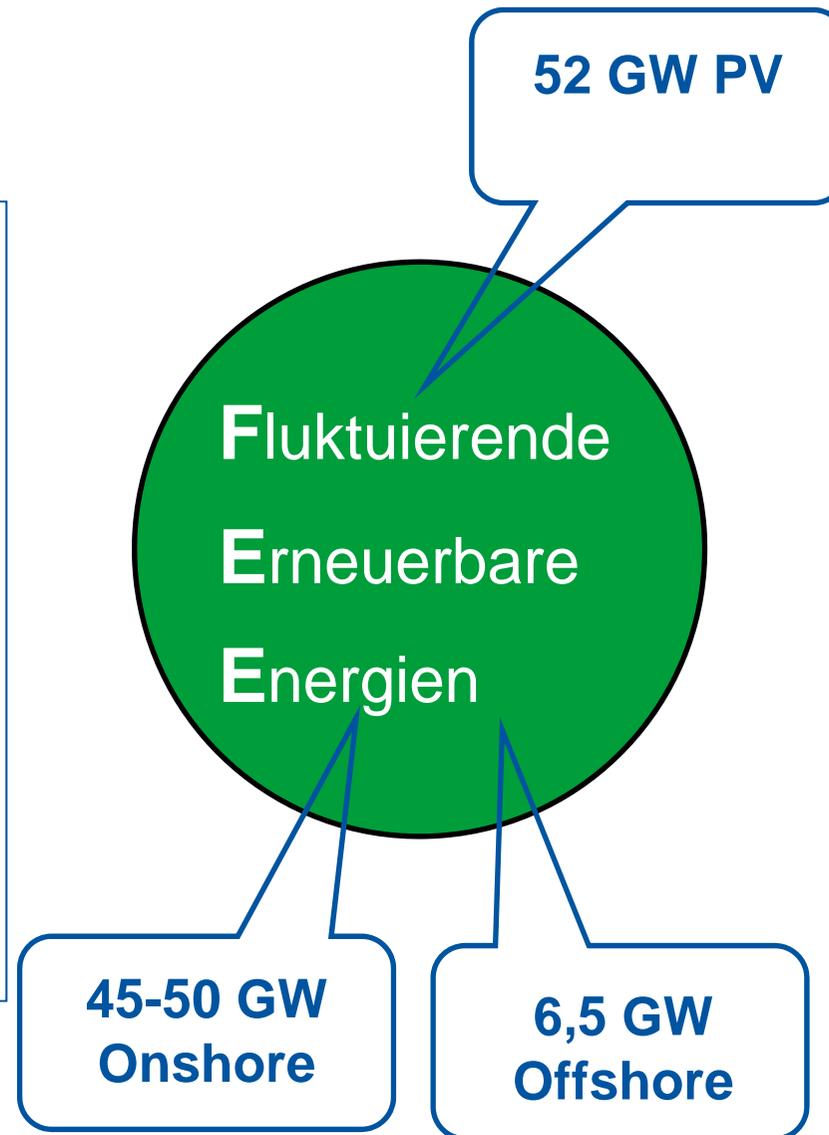
Schnitt-
stelle
Bioener-
gie

keine Reduktion bis
2020

25% KWK bis 2020

Das künftige Stromsystem (Ziele 2020)

Annahme
Die FEE (Wind, PV, Wasser) werden mittelfristig bis zur Hälfte der gesamten Stromerzeugung abdecken – dadurch bestimmen sie die Rationalität des Systems



Wind und PV sind die bisherigen ökonomischen Gewinner der EE

Quelle: ISE 2013

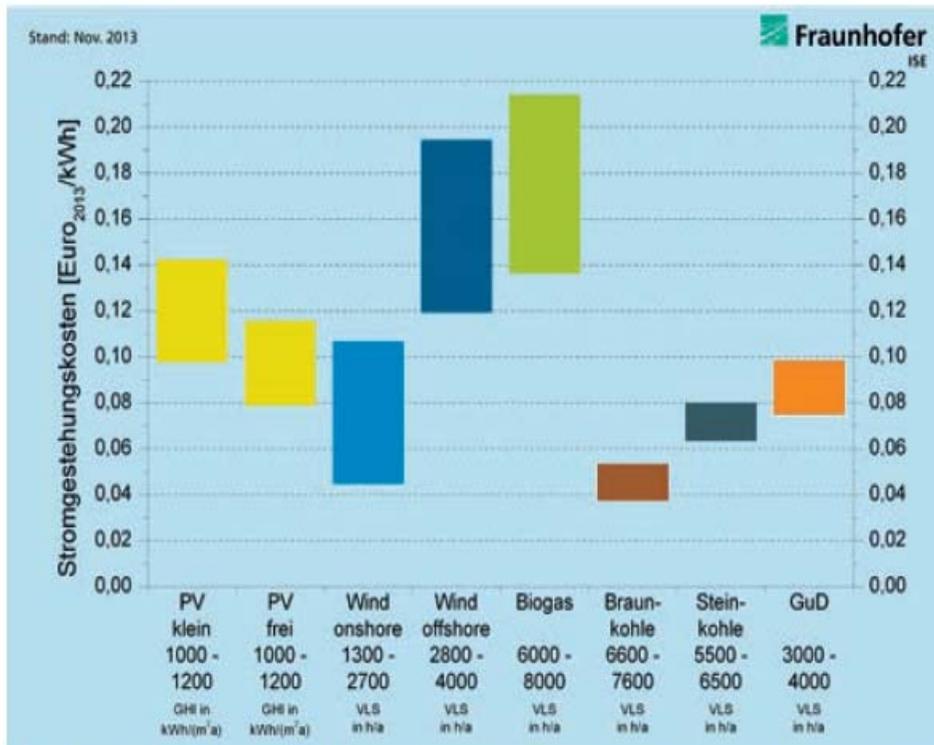
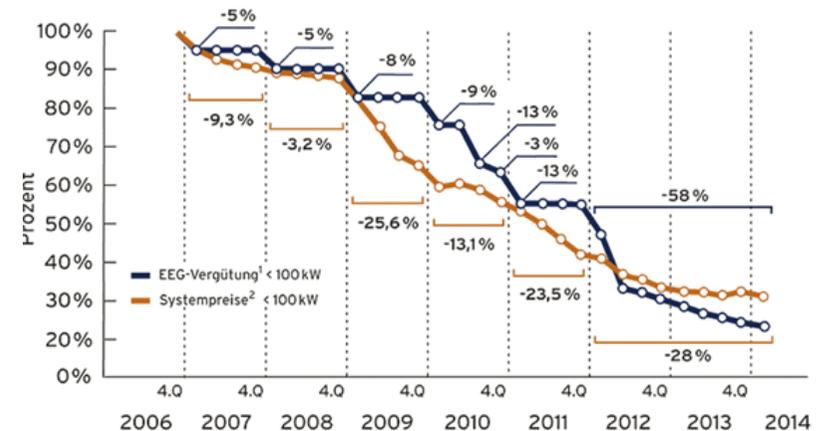


Abbildung 1: Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke an Standorten in Deutschland im Jahr 2013. Der Wert unter der Technologie bezieht sich bei PV auf die solare Einstrahlung (GHI) in kWh/(m²a), bei den anderen Technologien gibt sie die Volllaststundenanzahl der Anlage pro Jahr an. Spezifische Investitionen sind mit einem minimalen und einem maximalen Wert je Technologie berücksichtigt.

Die Kostenrevolution bei der PV



HOME / DUBAI / ENERGY / INDUSTRY

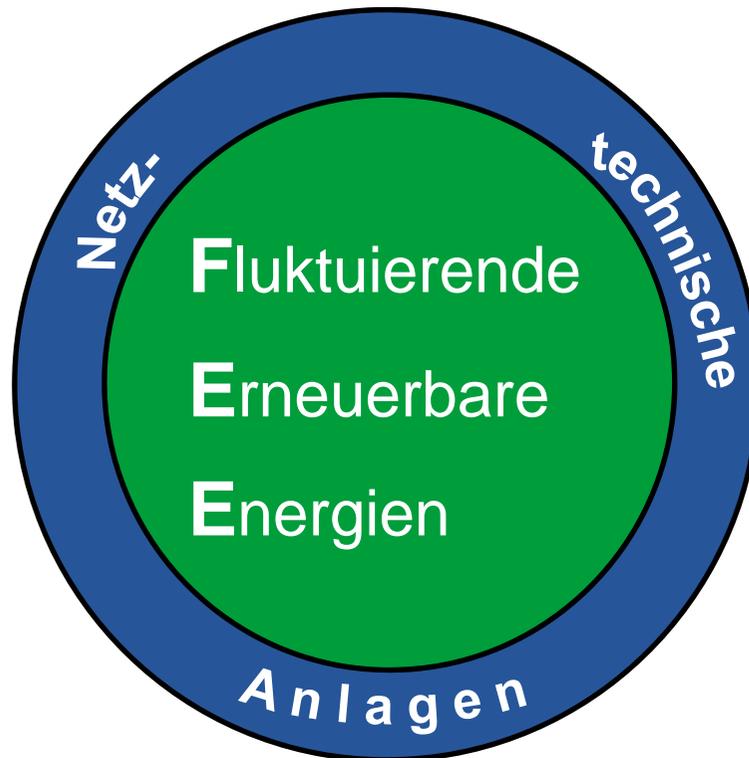
ACWA Power, TSK Win Contract To Build Power Plant In Dubai's Solar Park

The project has a net power capacity of 200 MW and is the largest utility scale solar plant in the world to be tendered in a single phase

By Mary Sophia January 15, 2015



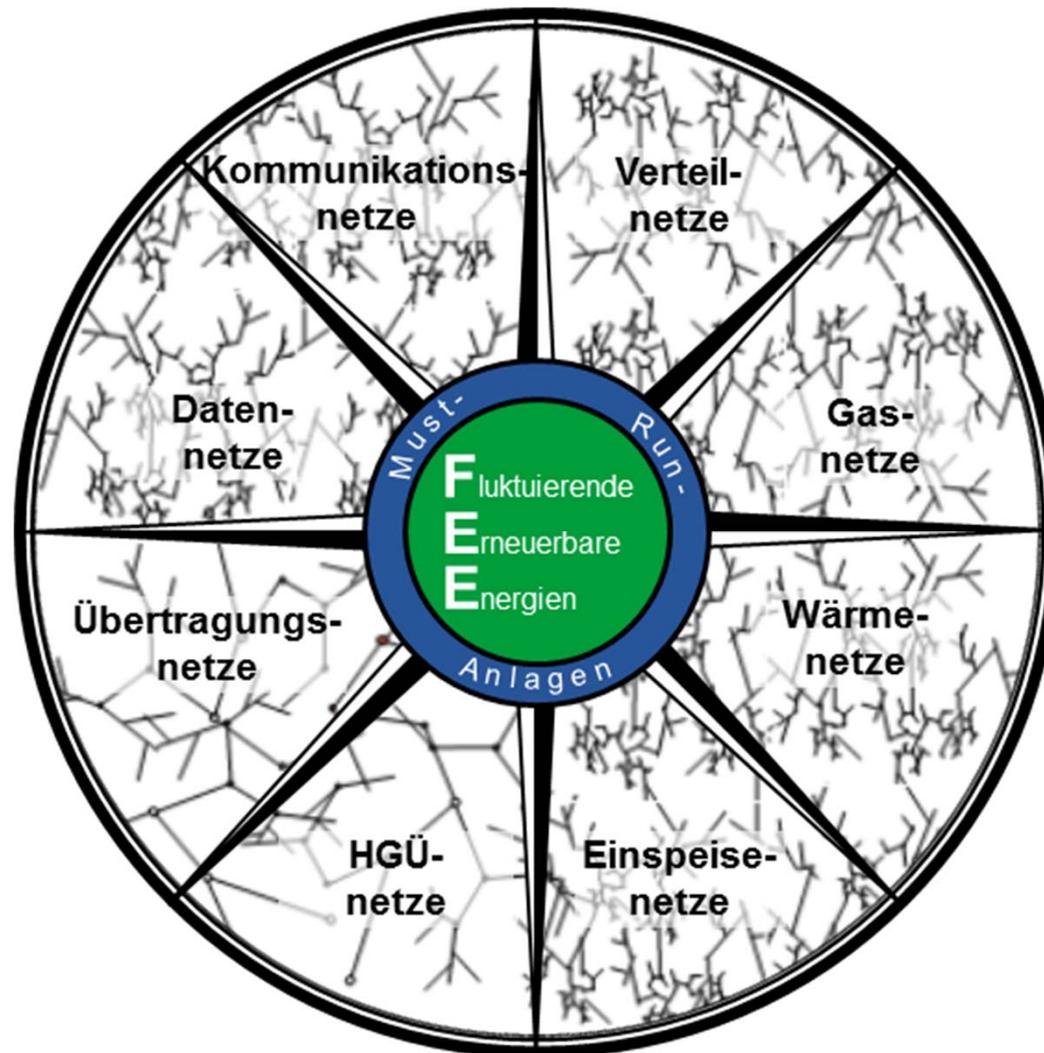
As part of the deal, ACWA Power will receive a levelised tariff of \$5.84 cents/kWh for a 25-year power purchase agreement (PPA) starting in 2017, the statement said.



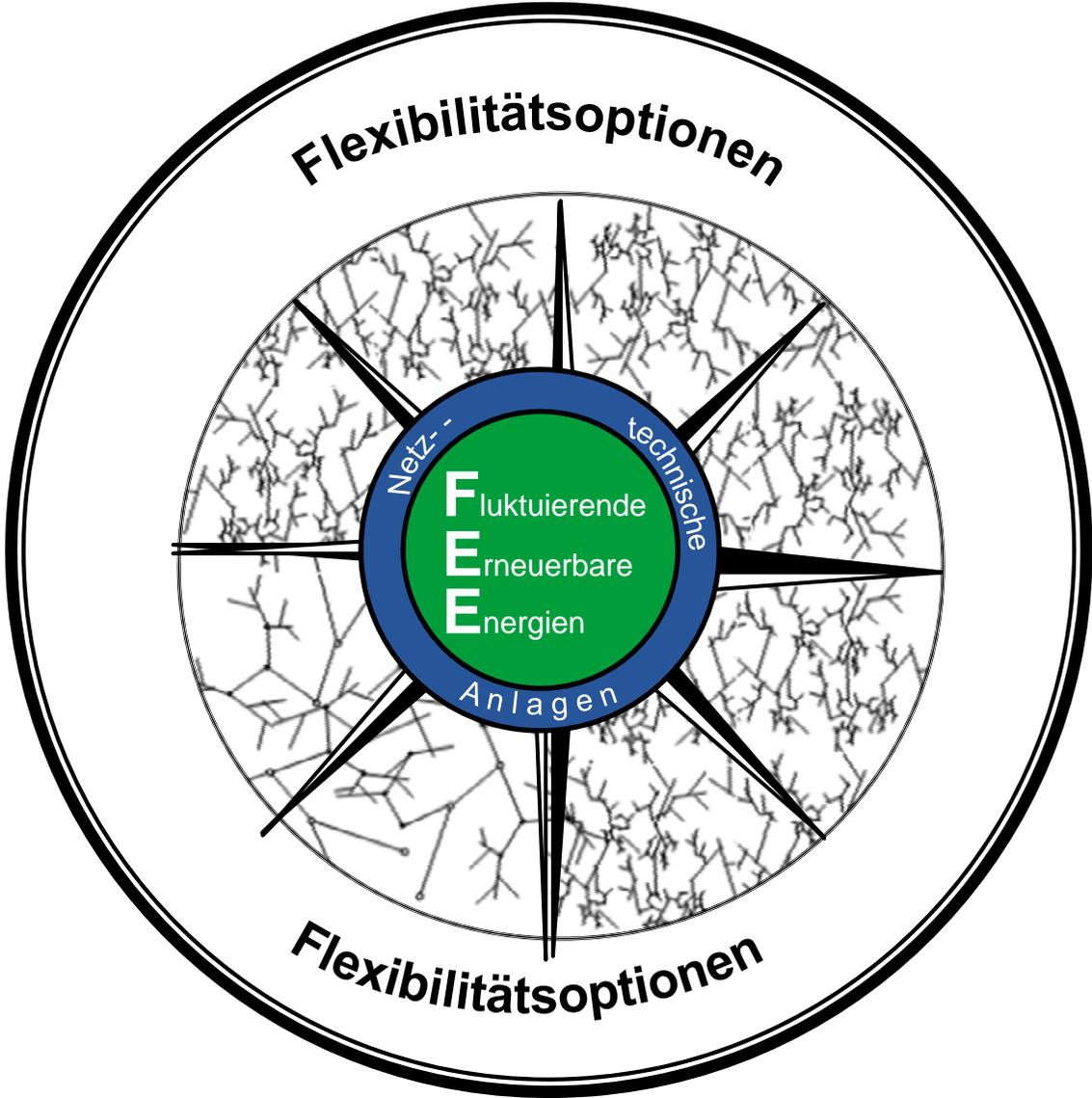
.. für Bereitstellung von Systemdienstleistungen

- Frequenzregelung („Regelenergie“)
- Spannungshaltung (Blindleistung)
- Kurzschlussleistung
- Redispatch-Fähigkeit
- Versorgungswiederaufbau

Infrastrukturen als Systemvoraussetzung und -ergänzung

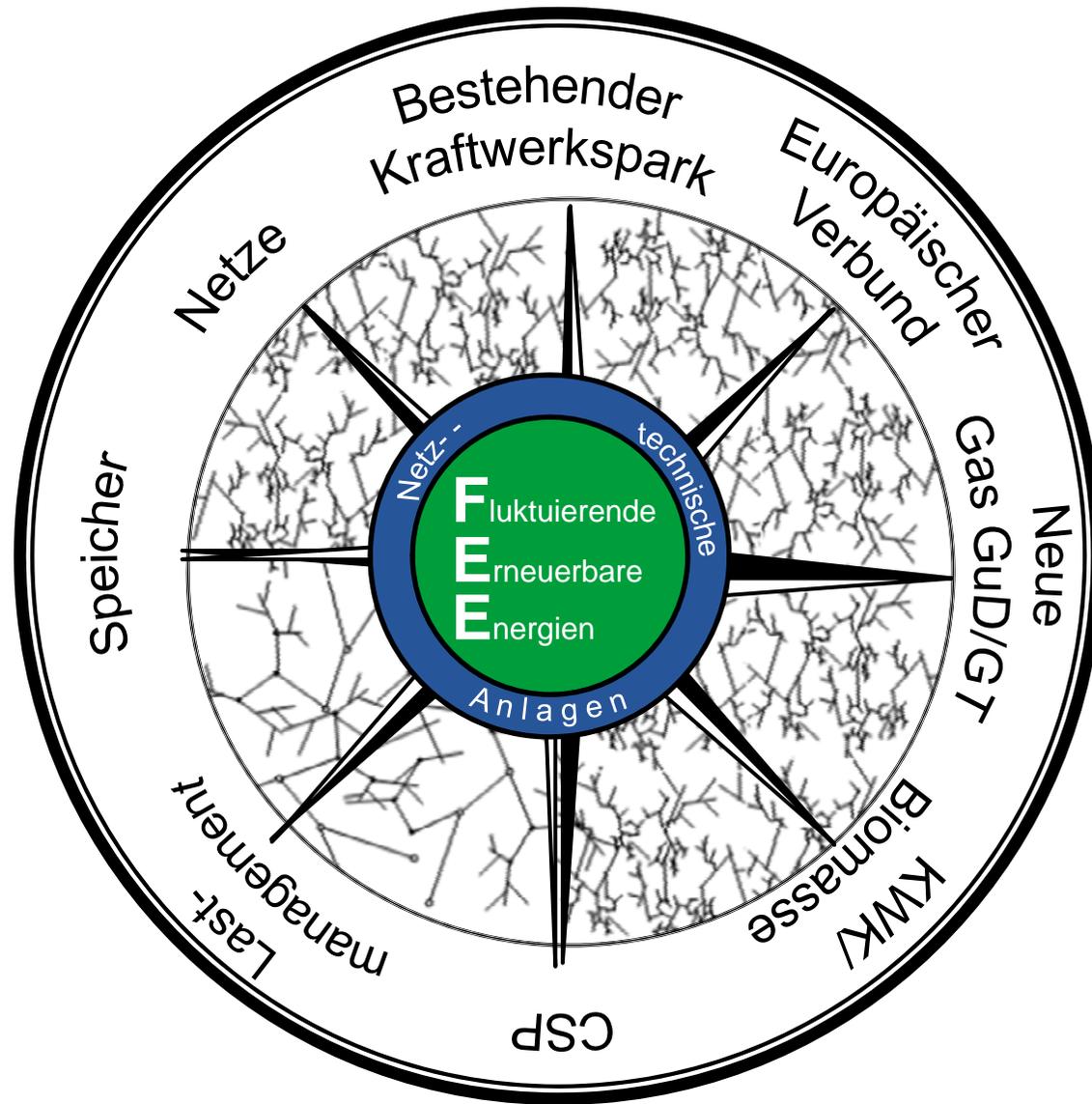


Das künftige Stromsystem



Quelle: IZES 2012

Das künftige Stromsystem



Quelle: IZES 2012

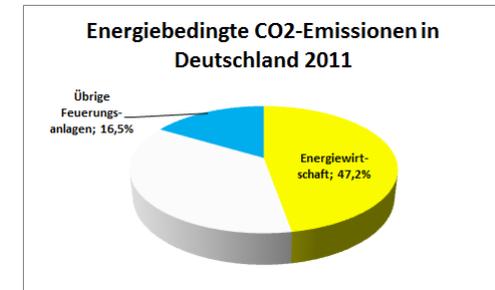
Derzeit politisch gewollte Flexibilitätsoptionen

- **Netzausbau:** Zahlungsstrom durch Netzentgelte
- **Kraft-Wärme-Kopplung:** Zahlungsstrom durch KWKG
- **Biomasse:** Zahlungsstrom durch EEG
- **Speicher:** Zahlungsstrom durch Förderung für PV-Speicher
- **Lastmanagement:** Zahlungsstrom durch Lastabschaltverordnung oder Regelenergie

Stärkere Vernetzung des Strom-Wärme-Systems

Aktuell:

- Weiterer Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, aber Flexibilisierung der Anlagen
- Weiterer Ausbau der elektrischen Wärmepumpen, aber gesteuert



Mittel- bis langfristig:

- Nutzung von regenerativem Überschussstrom in Wärmespeichern / „Elektroheizer“
- Nutzung von regenerativem Überschussstrom zur Erzeugung von Wasserstoff / Methan („power-to-gas“)

Stärkere Vernetzung des Strom- Verkehrs-Systems

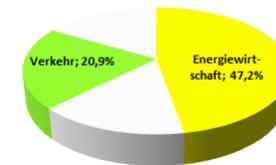
Aktuell:

- Weitere Stärkung des Schienenverkehrs
- Förderung der Elektromobilität

Mittel- bis langfristig:

- Nutzung von regenerativem Überschussstrom in Form von Wasserstoff / Brennstoffzellenfahrzeuge
- Nutzung von regenerativem Überschussstrom in Form von Methan / Erdgasfahrzeuge

Energiebedingte CO₂-Emissionen in
Deutschland 2011



Perspektivisch wachsen Strom-, Wärme- und Verkehrssystem stärker zusammen

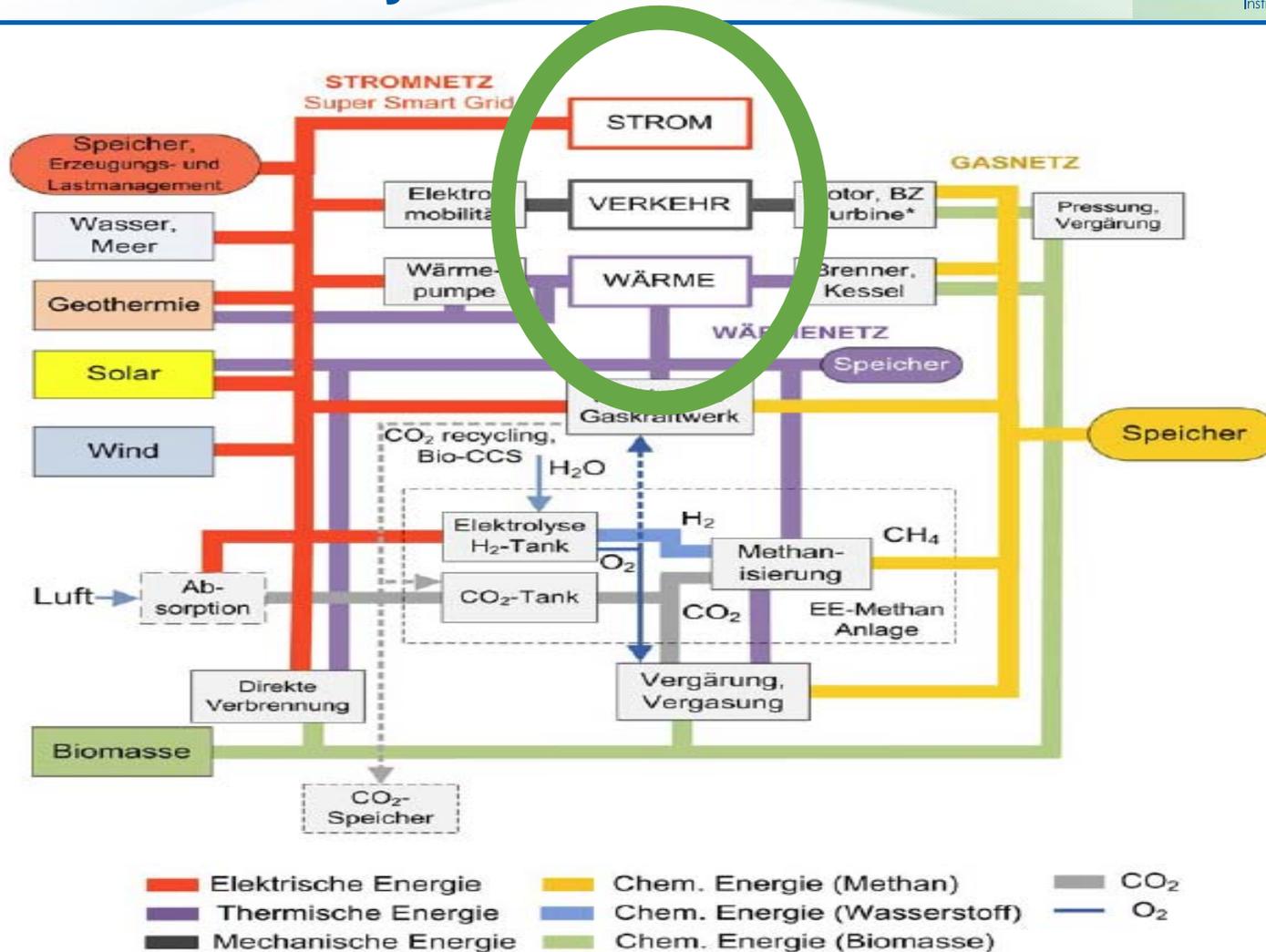


Abbildung 3.17: Struktur einer zukünftigen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien auf Basis gekoppelter Strom-, Gas- und Wärmenetze mit EE-Methan als chemischem Energieträger und Langzeitspeicher, angelehnt an [Sternier 2009]

Quelle: Sternier 2013

4. Zur Transformation des Stromsystems / „Systemdesign“

Charakteristika des bisherigen Stromsystems

Entflechtung	Strombörse	Netz- regulierung
Groß- verbundnetz	Großkraftwerke	zentralisierte System- verantwortung
zahlreiche Stadtwerke	marktmächtige Energie- konzerne	dezentrale Anlagen- betreiber

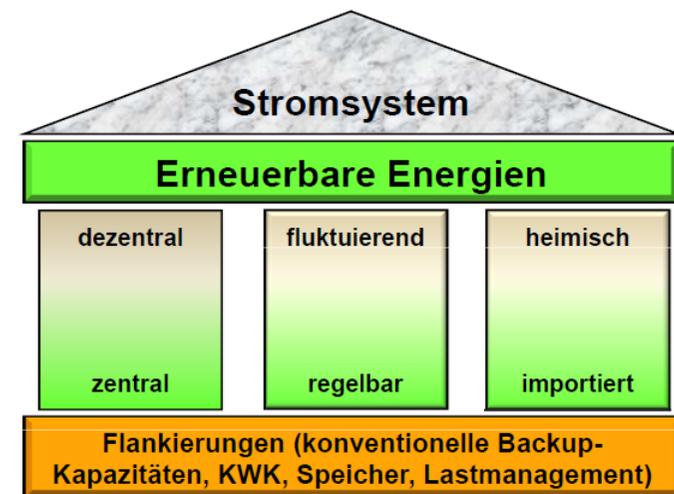
L
I
B
E
R
A
L

T
E
C
H
N
I
K

A
K
T
E
U
R
E

- als prägende Säulen des neuen Systems
- mit zunehmender Systemverantwortung
- notwendige Flankierung über flexible „Ausgleichsoptionen“

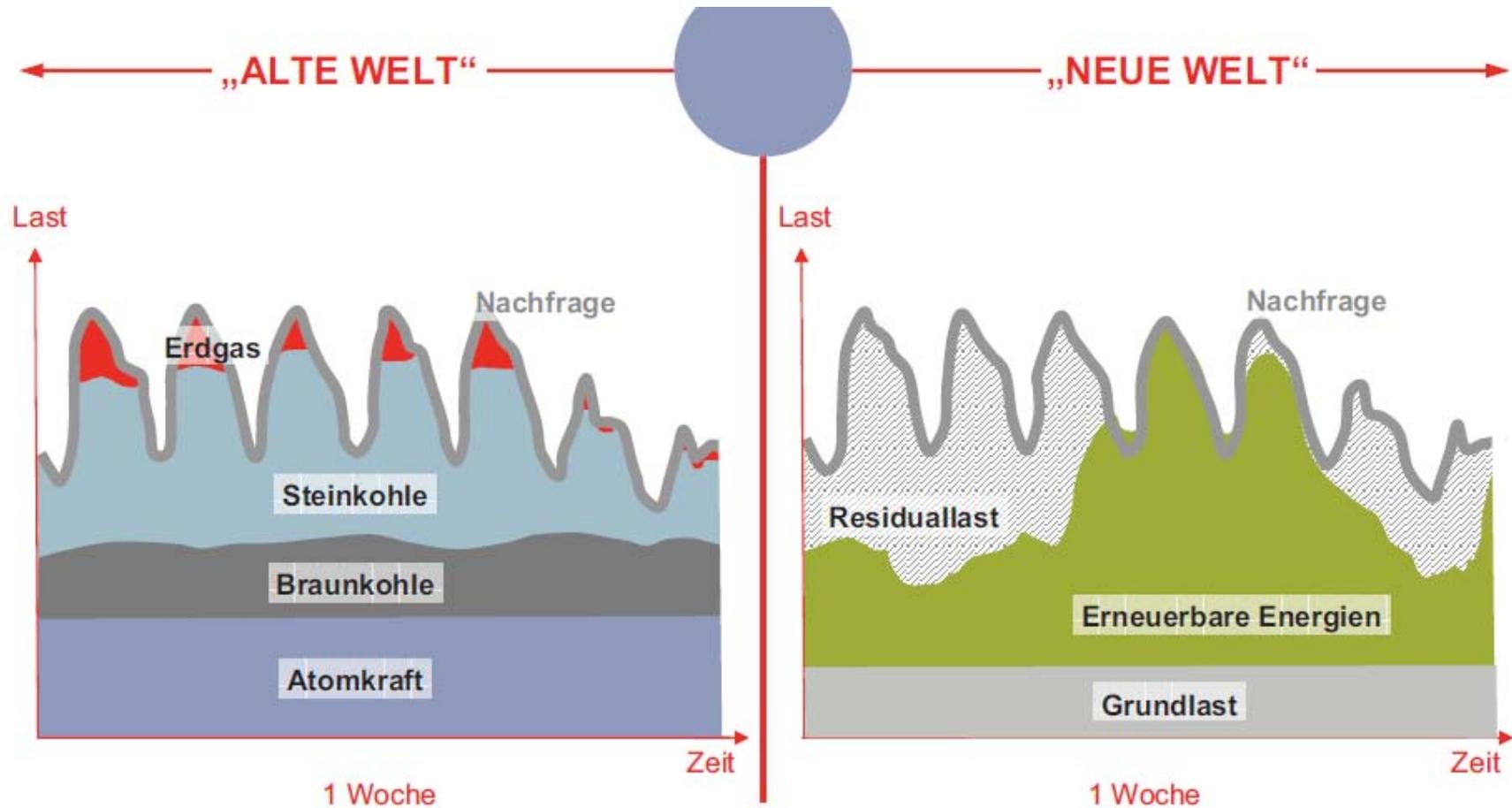
„Regenerativwirtschaft“



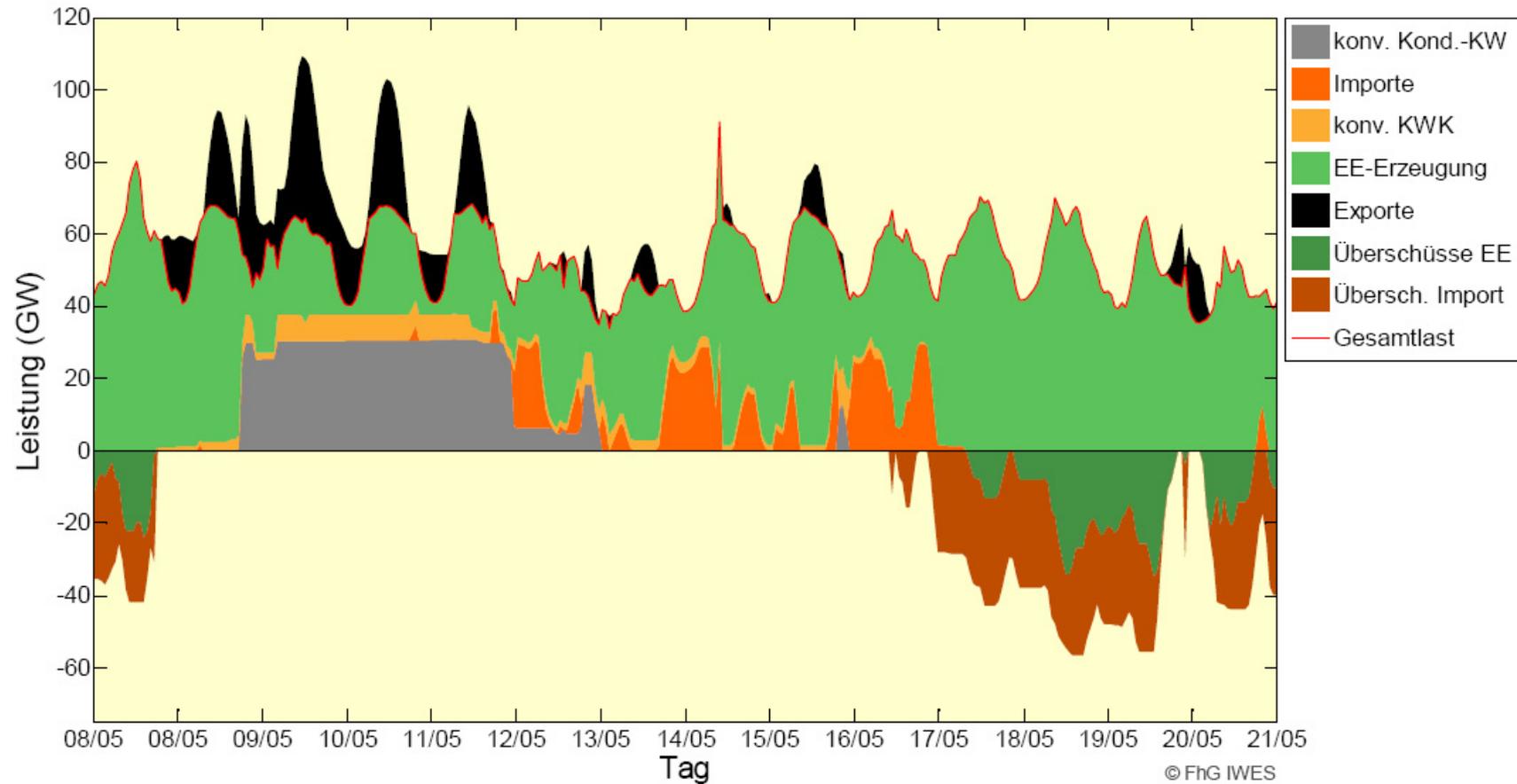
Elemente des künftigen Stromsystems

Entflechtung	Strombörse	Netz- regulierung	L I B E R A L	
Groß- verbundnetz	Fluktuierende Erneuerbare Energien	zentralisierte System- sicherheit		T E C H N I K
zahlreiche Stadtwerke	marktmächtige Energie- konzerne	dezentrale Anlagen- betreiber		A K T E U R E

Exkurs: Von der Grundlast zur „Residuallast“



Die Residuallast-Welt muss sehr flexibel sein!



Quelle: IWES 2012

Abbildung 5.17: Ausgewählter 2-Wochenverlauf der Erzeugungsseite des Gesamtsystems für 2050 (Wetterjahr 2006; Basisszenario 2010 A)

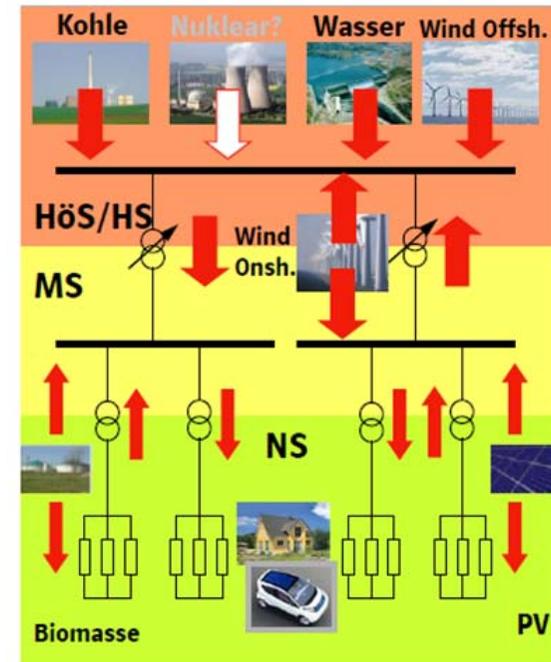
Inflexibilitäten und FEE sind auf Dauer nicht kompatibel

Mustrun	EE Anteil					
	40%	60%	68%	73%	95%	100%
0 GW	0%	-1%	-2%	-4%	-13%	-16%
5 GW	0%	-1%	-3%	-4%	-13%	-16%
10 GW	0%	-2%	-4%	-5%	-14%	-17%
15 GW	-1%	-5%	-7%	-8%	-16%	-19%
20 GW	-4%	-10%	-11%	-12%	-19%	-22%

Anteil der abgeregelten Produktion ohne Nutzung von Flexibilitäten (Wetterjahr 2007)

Quelle: Sensfuss (2012)

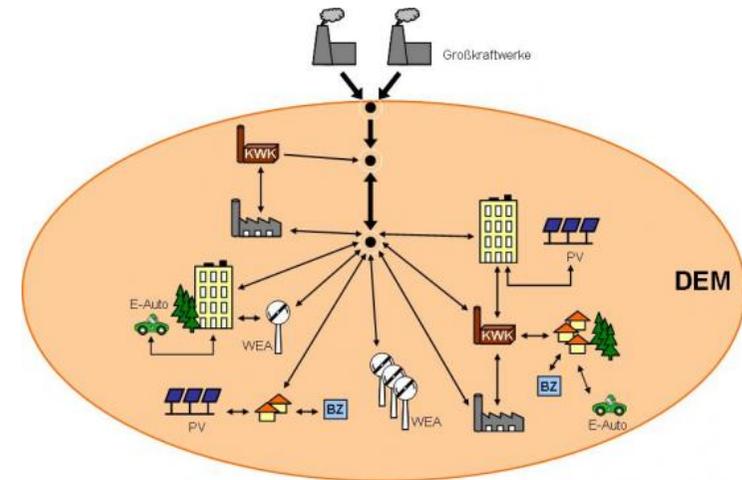
- Stromfluss auch von unten nach oben
- mehr Steuerungsmöglichkeiten / Smart Grids
- stärkere Vernetzung



Elemente des künftigen Stromsystems

Entflechtung	Strombörse	Netz- regulierung	L I B E R A L
Neue Netzqualität	Fluktuierende Erneuerbare Energien	zentralisierte System- sicherheit	T E C H N I K
zahlreiche Stadtwerke	marktmächtige Energie- konzerne	dezentrale Anlagen- betreiber	A K T E U R E

- Neue Anforderungen an die Verteilnetzebene – neue Aufgabenteilung zwischen ÜNB und VNB
- stärkere Einbeziehung von dezentralen Anlagen in die Systemverantwortung
- stärkere Einbeziehung von Endkunden in die Systemverantwortung

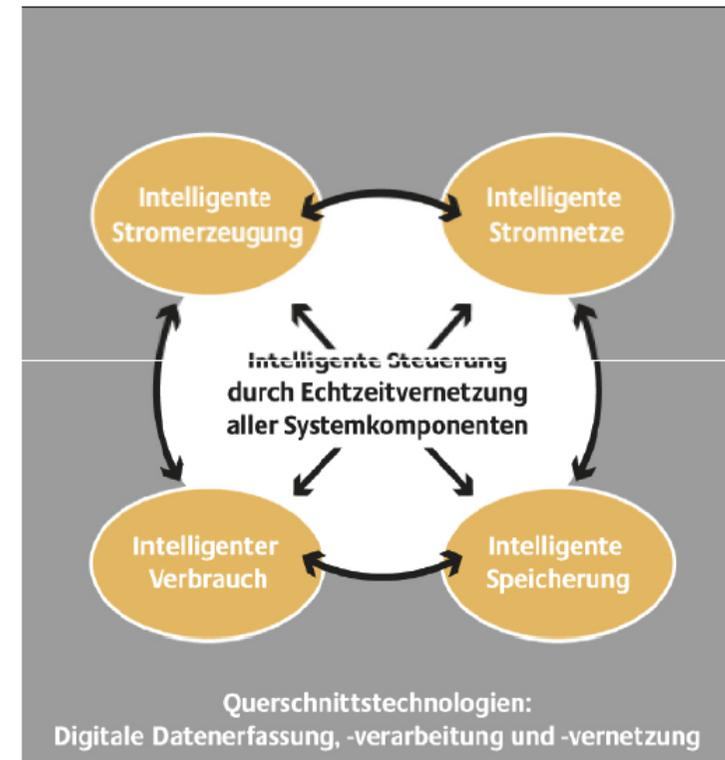


Elemente des künftigen Stromsystems

Entflechtung	Strombörse	Netz- regulierung	L I B E R A L
Neue Netzqualität	Fluktuierende erneuerbare Energien	Dezentrali- sierung System- verantwortung	T E C H N I K
zahlreiche Stadtwerke	marktmächtige Energie- konzerne	dezentrale Anlagen- betreiber	A K T E U R E

**Passen die Elemente der
Liberalisierung und die alte
Akteursstruktur zu dem
neuen technischen System?**

- VNB als „aktiver Netzbetreiber“ und dezentraler Systemoptimierer („smart VNB“)
- ... mit direkterem Zugriff auf dezentrale Anlagen und Kunden
- ... als Optimierer der Querverbund-Infrastruktur („Hybridnetz“)



Elemente des künftigen Stromsystems

Smart VNB	Strombörse	Netz- regulierung	L I B E R A L T E C H N I K A K T E U R E
Neue Netzqualität	Fluktuierende Erneuerbare Energien	Dezentrali- sierung System- verantwortung	
zahlreiche Stadtwerke	marktmächtige Energie- konzerne	dezentrale Anlagen- betreiber	

- Evtl. Ergänzung der bestehenden „Kilowattstundenmärkte“ durch Leistungsmärkte, um „Backup-Kapazitäten“ für die FEE-Anlagen und Saisonalspeicher zu refinanzieren
- Integration von Lastmanagement in Leistungsmärkte

Smart VNB	Kilowattstunden- plus Leistungsmärkte	Netz- regulierung	L I B E R A L	
Neue Netzqualität	Fluktuierende Erneuerbare Energien	Dezentrali- sierung System- verantwortung		T E C H N I K
zahlreiche Stadtwerke	marktmächtige Energie- konzerne	dezentrale Anlagen- betreiber		A K T E U R E

- Honorierung von Beiträgen zum dezentralen Lastausgleich durch die VNB
- Offenheit der Netzregulierung für Innovationen
- Engere Abstimmung von Strom- und Gasnetzregulierung

Elemente des künftigen Stromsystems

Smart VNB	Kilowattstunden- plus Leistungsmärkte	Qualitäts-/ Innovations- regulierung	L I B E R A L T E C H N I K A K T E U R E
Neue Netzqualität	Fluktuierende Erneuerbare Energien	Dezentrali- sierung System- verantwortung	
zahlreiche Stadtwerke	marktmächtige Energie- konzerne	dezentrale Anlagen- betreiber	

- Sind „die“ Stadtwerke in der Lage, als VNB zunehmende Beiträge zur Systemsicherheit zu erbringen und dabei ggf. zu kooperieren?
- Sind „die“ Stadtwerke in der Lage, mehr Netzintelligenz zu realisieren und zu nutzen?
- Sind „die“ Stadtwerke in der Lage, dezentrale Erzeugungsmöglichkeiten umfassend zu nutzen?
- Sind „die“ Stadtwerke in der Lage, dezentrale „Ausgleichsoptionen“ zu erschließen?

Elemente des künftigen Stromsystems

Smart VNB	Kilowattstunden- plus Leistungsmärkte	Qualitäts-/ Innovations- regulierung	L I B E R A L T E C H N I K A K T E U R E
Neue Netzqualität	Fluktuierende erneuerbare Energien	Dezentrali- sierung System- verantwortung	
Stadtwerke als Schlüssel- akteure?	marktmächtige Energie- konzerne	dezentrale Anlagen- betreiber	

- ... durch Beiträge zentraler erneuerbarer Energien wie Wind-Offshore oder CSP?
- ... durch den Bau flexibler Backup-Kapazitäten wie z.B. Gaskraftwerke?
- ... durch den Bau zentraler Tages- und Saisonalspeicher im In- und Ausland?



Elemente des künftigen Stromsystems

Smart VNB	Kilowattstunden- plus Leistungsmärkte	Qualitäts-/ Innovations- regulierung	L I B E R A L
Neue Netzqualität	Fluktuierende Erneuerbare Energien	Dezentrali- sierung System- verantwortung	T E C H N I K
Stadtwerke als Schlüssel- akteure?	Energiekonzerne als System- ergänzer?	dezentrale Anlagen- betreiber	A K T E U R

- Dezentrale Anlagenbetreiber und Aggregatoren als Regelenergievermarkter!
- Virtuelle Kraftwerksbetreiber zur Unterstützung des Netzlastmanagements?
- Integration der FEE-Anlagen in die Bilanzkreise der Lieferanten?
- Neue Energiedienstleistungsanbieter durch die EU-Effizienzrichtlinie?

Elemente des künftigen Stromsystems

Smart VNB	Kilowattstunden- plus Leistungsmärkte	Qualitäts-/ Innovations- regulierung	L I B E R A L T E C H N I K A K T E U R E
Neue Netzqualität	Fluktuierende Erneuerbare Energien	Dezentrali- sierung System- verantwortung	
Stadtwerke als Schlüssel- akteure?	Energiekonzerne als System- ergänzer?	Neue wettbewerb- liche Akteure?	

Der Blick über die Grenze: transnationale Perspektiven

Technische Optionen

- Norwegen als “europäische Batterie”
- Die Nordsee als Europas grünes “Power House”
- “Solarregion” Mittelmeer

Die Europäische Union

- als Infrastruktur-Bereitsteller
- als Koordinator größerer Kooperationsprojekte zwischen Staaten in und außerhalb der EU



Nationale Regierungen

- sind bereit, auch in Fragen der Versorgungssicherheit grenzüberschreitend zu kooperieren

Die Leute

- sind bereit, einen Mix aus zentralen und dezentralen Optionen zu akzeptieren
- streben nicht nach Autonomie oder Autarkie

5. Ausblick

- Die fluktuierenden Erneuerbaren Energien Wind und PV werden das künftige Stromsystem prägen
- Ein weites Spektrum an Flexibilitätsoptionen steht zur Verfügung, um die FEE-Anlagen zu ergänzen; welche gewählt werden, wird z.T. politisch, z.T. durch Marktkräfte entschieden
- Die Akteurs- und Markttrollen werden sich den neuen Aufgaben anpassen müssen; dezentrale Akteure werden dabei im Vorteil sein
- Eine neue Grundlastoption (Geothermie, Kernfusion) könnte nur in engen Grenzen ein Wind-/PV-gestütztes System ergänzen; sie müsste es ersetzen, d.h. ökonomisch und ökologisch attraktiver sein

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES)

Altenkesslerstr. 17, Gebäude A1

66115 Saarbrücken

Tel. 0681 – 9762 840

Fax 0681 – 9762 850

email: leprich@izes.de

Homepage www.izes.de