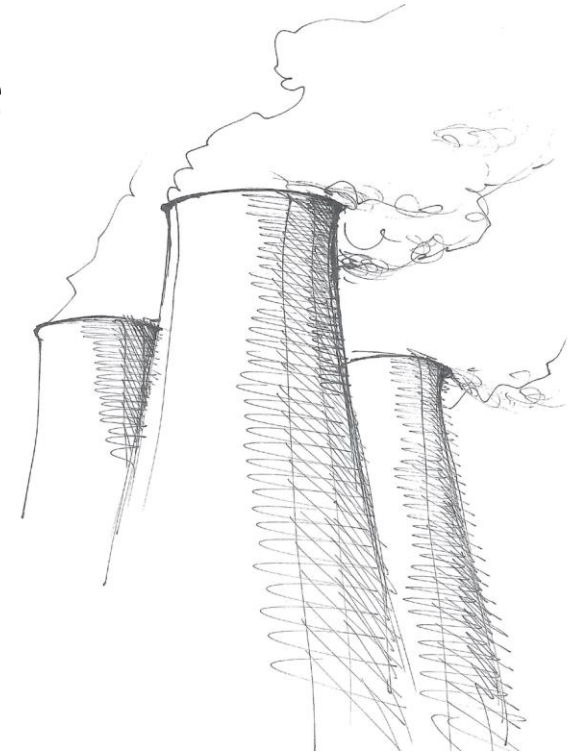
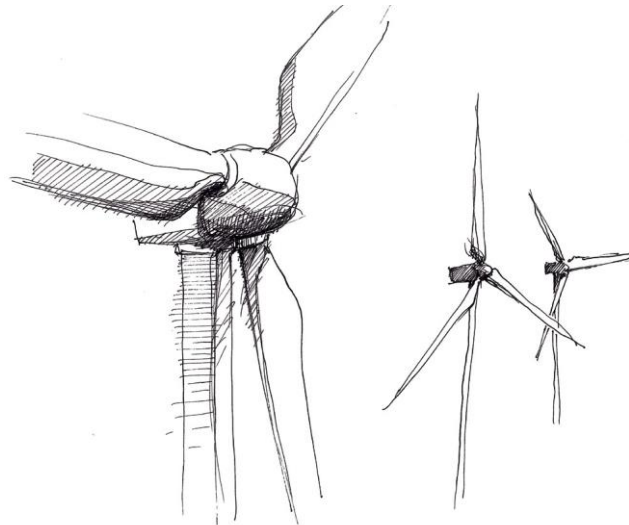
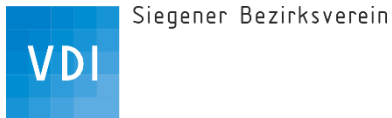


# Versorgungssicherheit – Eine Herausforderung der Energiewende



Ingenieurwissenschaftliches Kolloquium  
am 18. Juli 2018 bei der Gebr. Kemper GmbH & Co. KG in Olpe



## Die Wirkung der Elektrizität ist global sichtbar



Quelle: NASA's Earth Observatory

# Ohne Strom ist das moderne Leben nicht vorstellbar

Mobilität



Licht



Wärme



Klimatisierung



Medizintechnik



Kühlung



Zahlungsverkehr



Informationstechnik



Kommunikation



## Inhalt

# Versorgungssicherheit – Eine Herausforderung der Energiewende

1. Was wollen wir erreichen und wo stehen wir heute ?
2. Welche Herausforderungen kommen auf uns zu ?
3. Was sollten wir beachten und was können wir tun ?

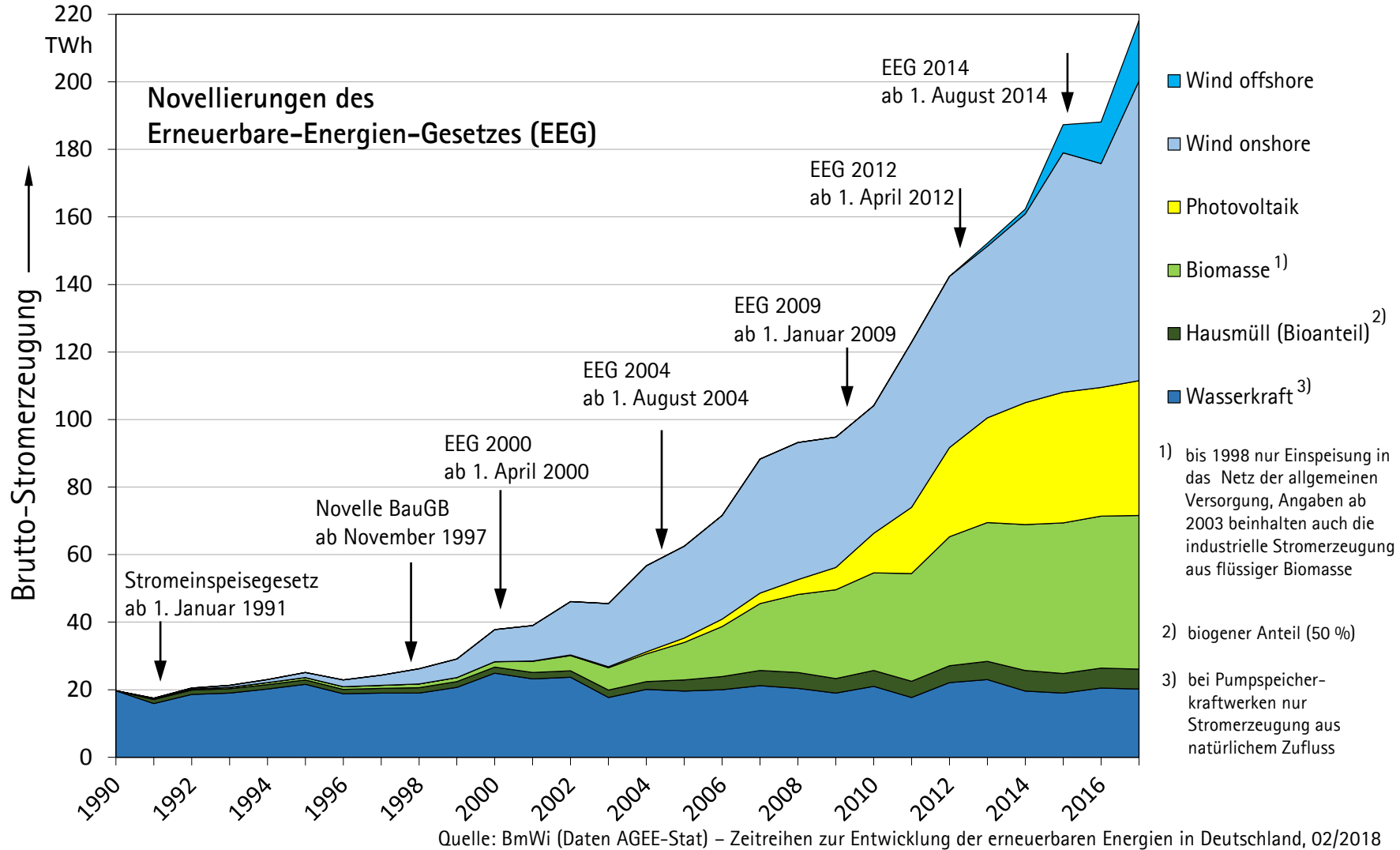
# Was versteht man in Deutschland unter Energiewende ?



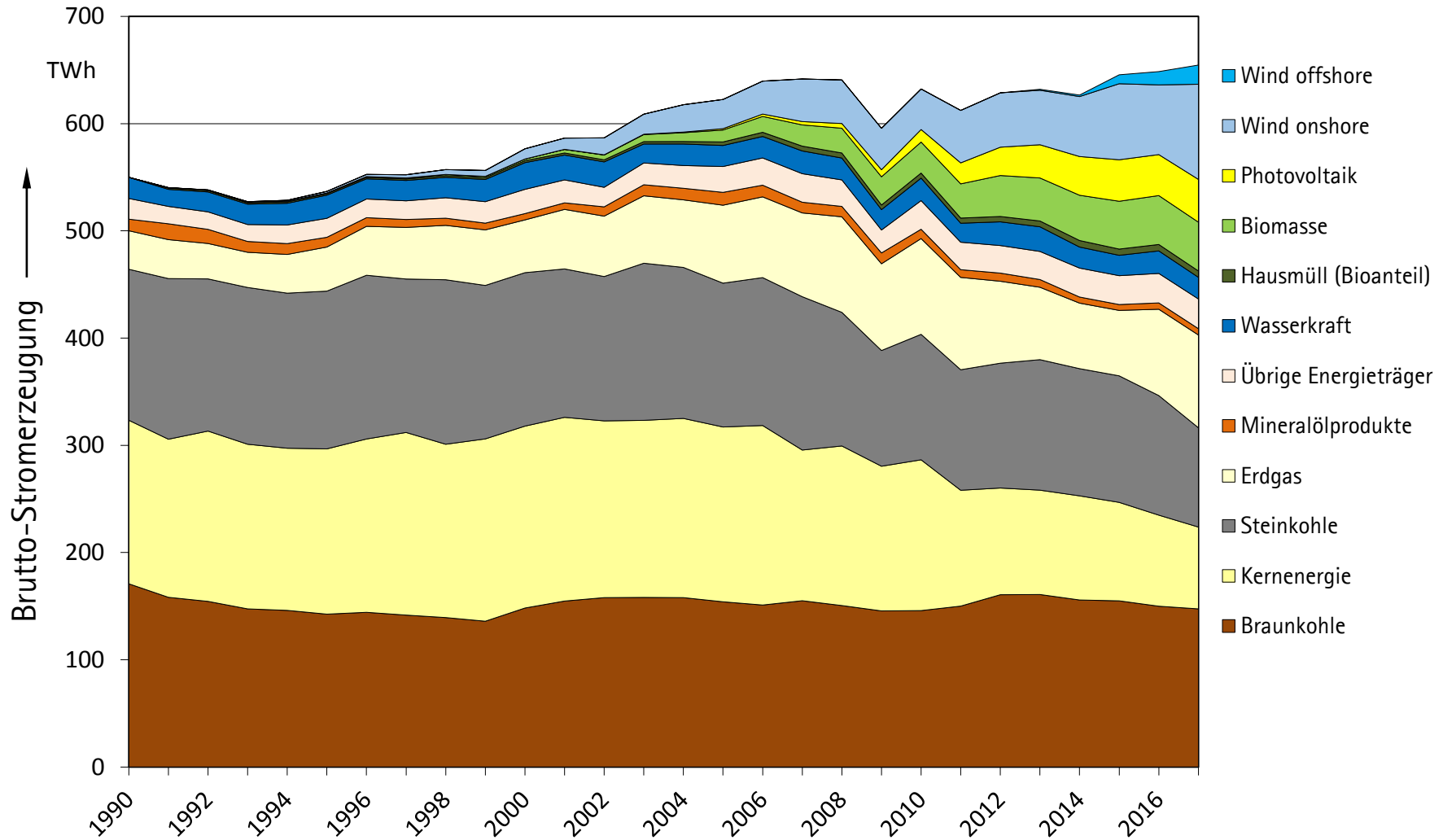
Übergang vom Verbrauch endlicher fossiler und nuklearer Primärenergien zum Einsatz nachhaltig verfügbarer erneuerbarer Energien (EE).

Ziel	Status	Abschluss
Ausstieg aus der Kernenergie	beschlossen	bis 2023
Ausbau der Erneuerbaren auf 80 % der Stromerzeugung	in Umsetzung	bis 2050
Vollständige Dekarbonisierung der Stromwirtschaft 100 % EE	in Planung	bis 2080
Elektrifizierung der gesamten Wirtschaft (Sektorenkopplung)	Vision	bis ????

# Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland

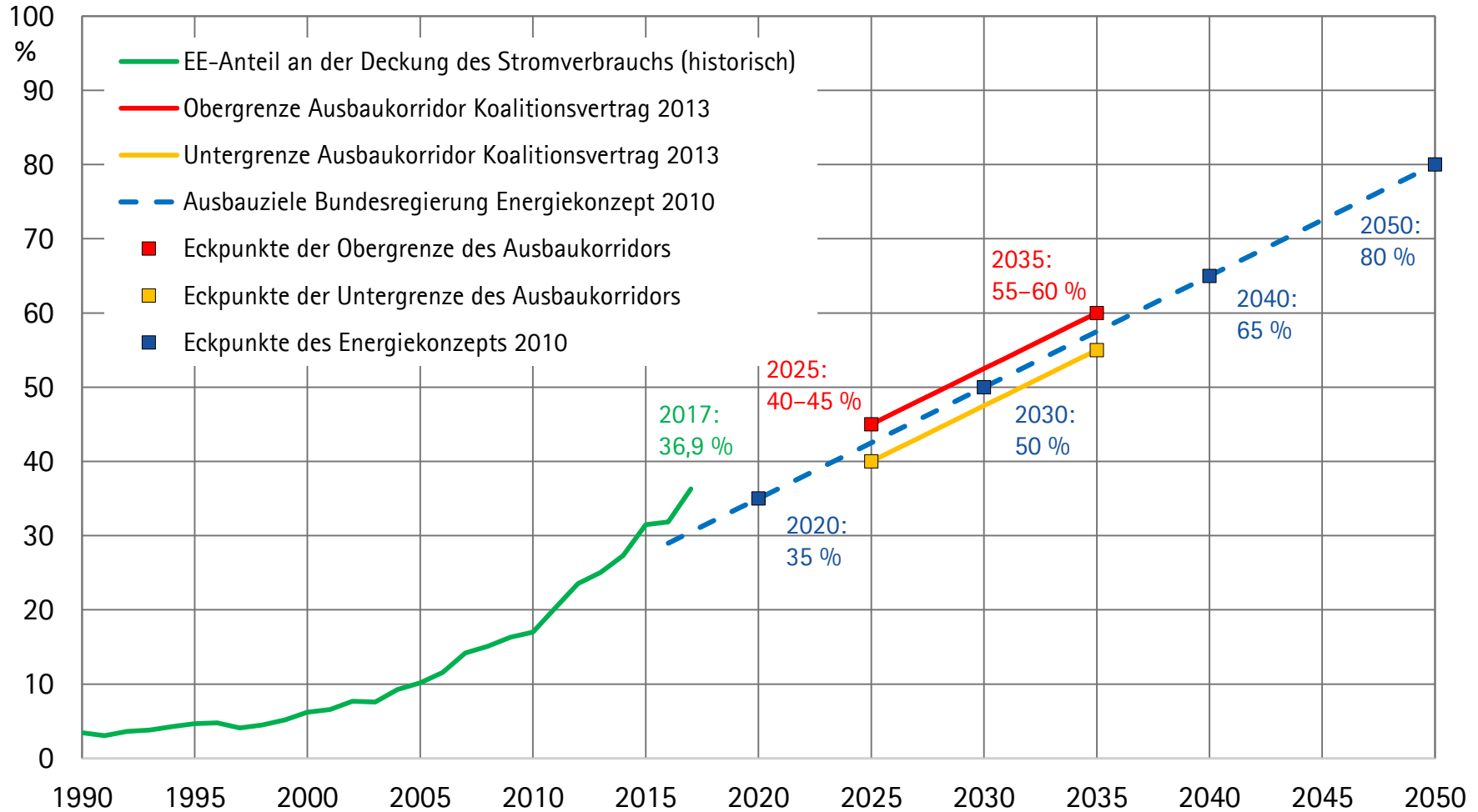


# Strommix Deutschland 1990–2017 (nach Primärenergieträgern)



Quelle: AGEB – Stand: 2. Februar 2018

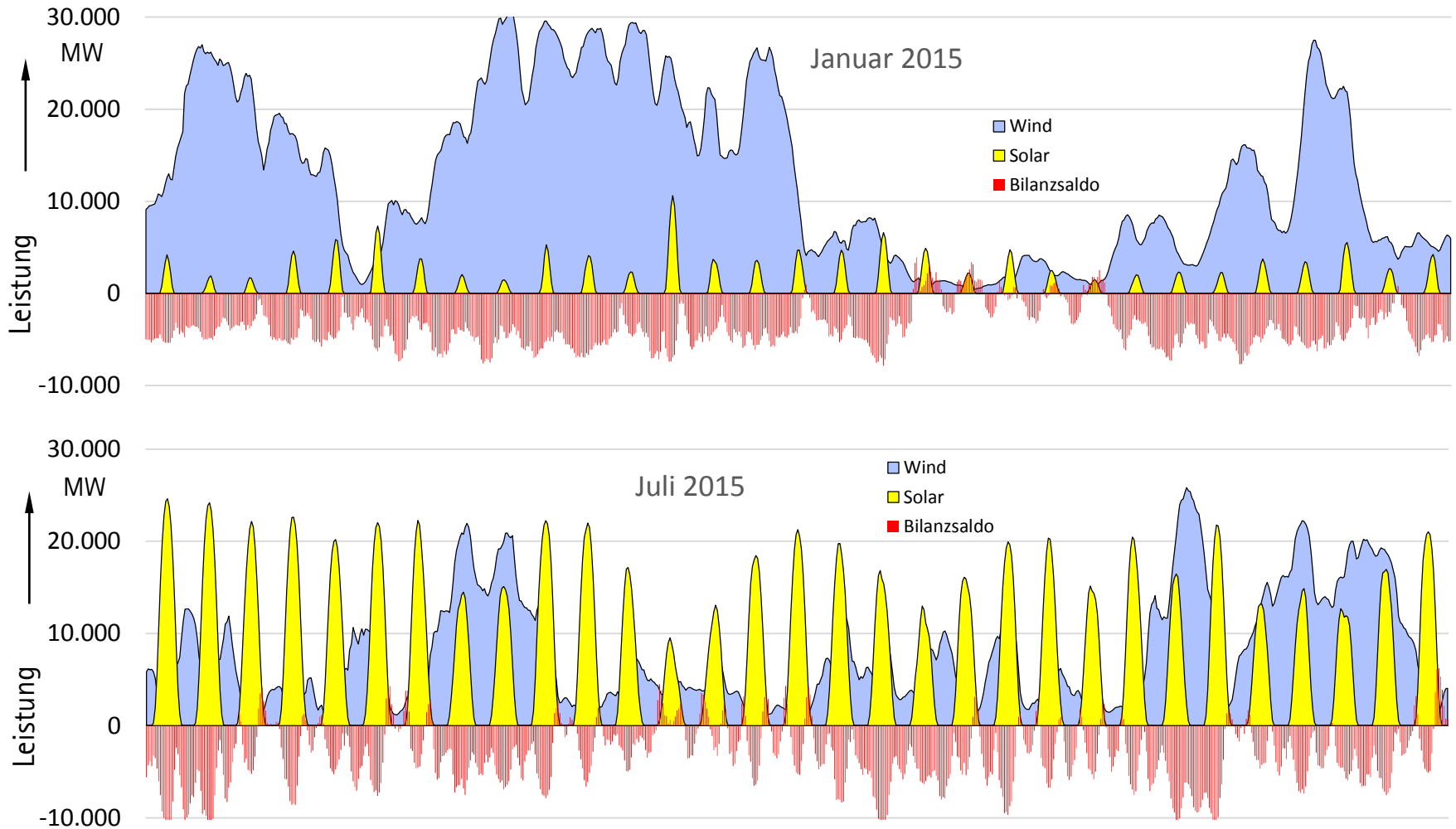
# EEG-Ausbauziele der Bundesregierung



Quelle: [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html)

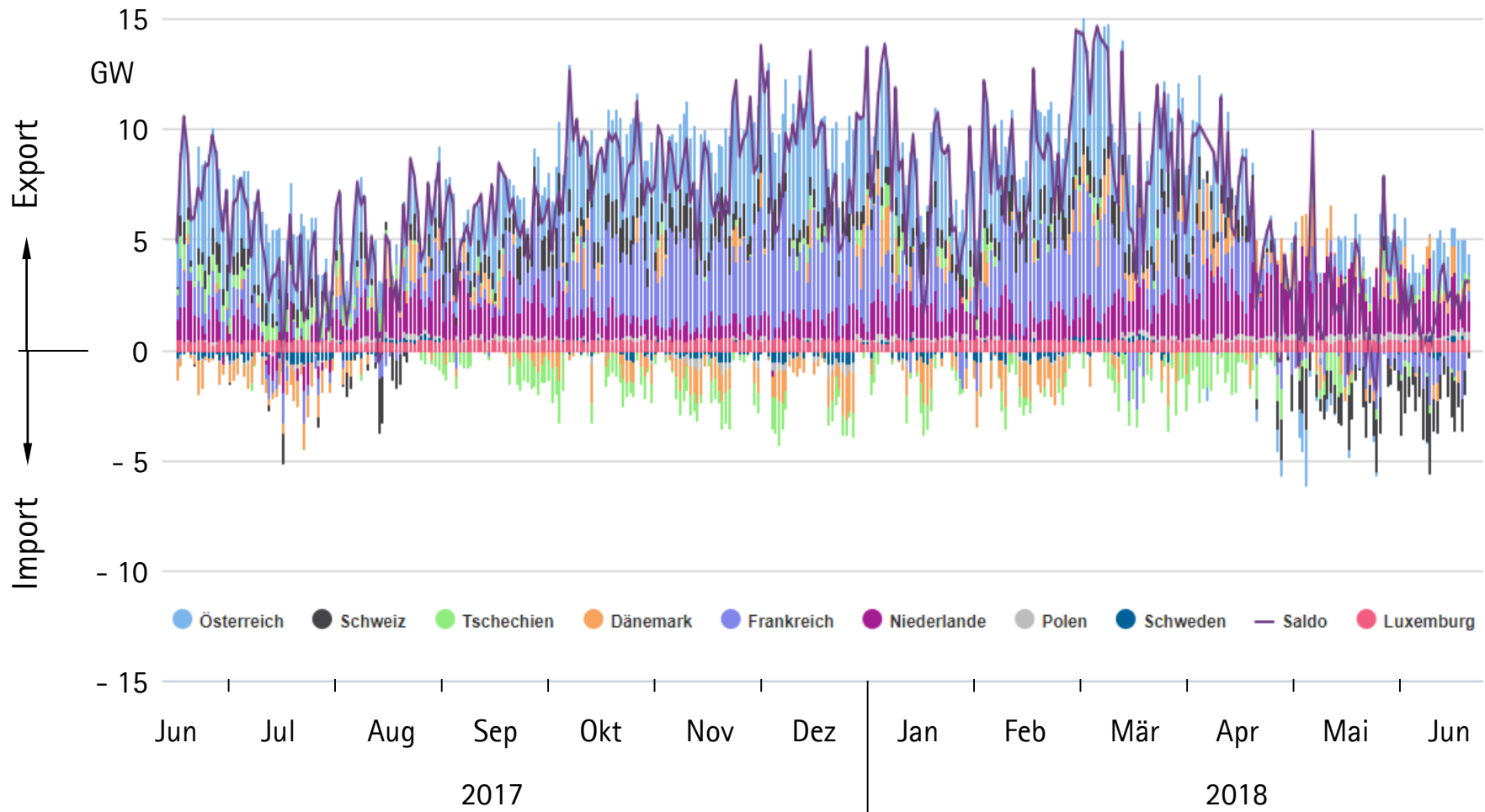


# EEG-Strom-Einspeisung führt häufig zu einem negativen Bilanzsaldo



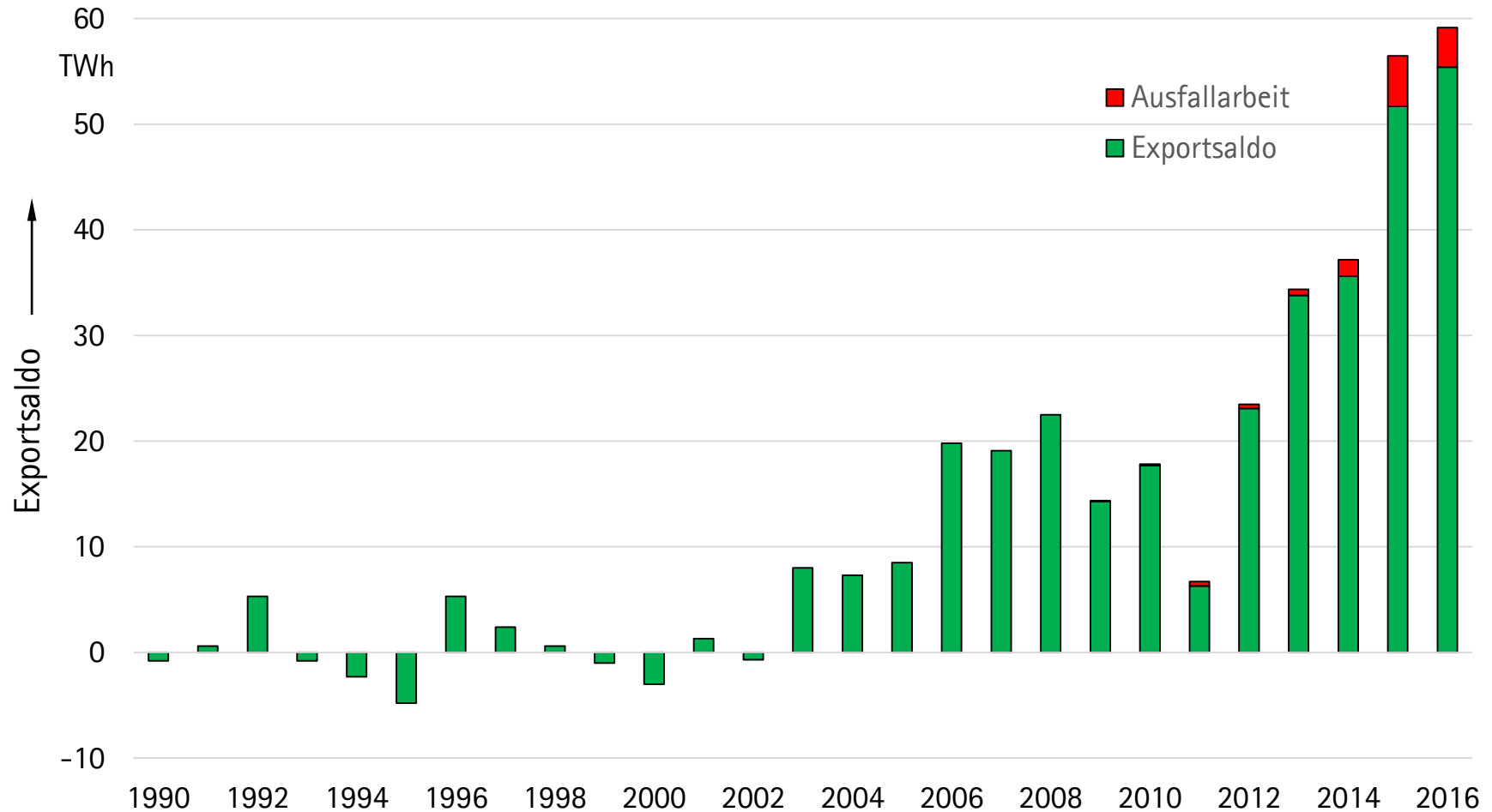
Quelle: Einspeisedaten der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB)

# Die Stromexporte aus Deutschland überwiegen die Stromimporte



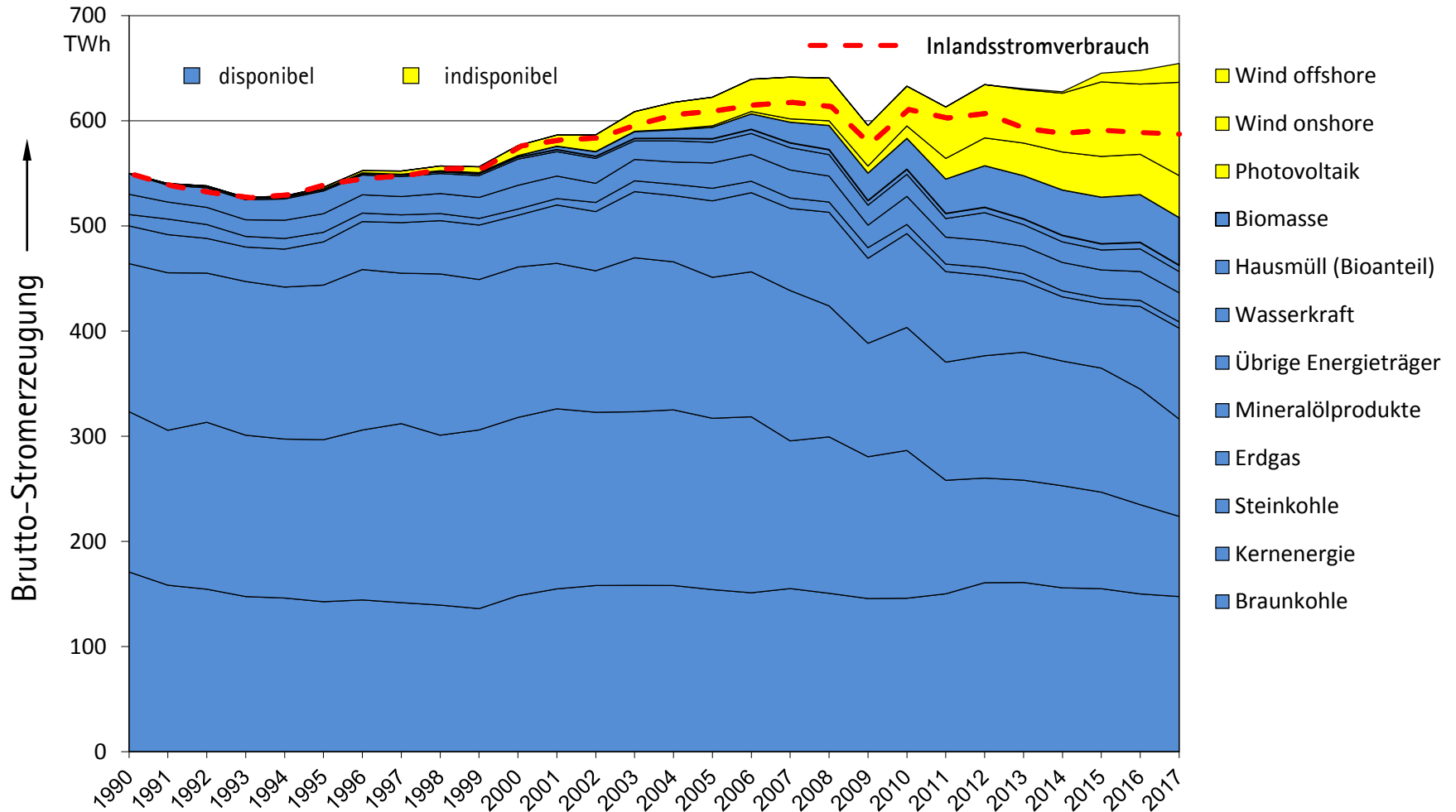
Quelle: Agorameter 14. Juni 2018

# Deutliche Zunahme des Exportsaldos und der Ausfallarbeit



Quellen: 1. Exportsaldo: AGEB – September 2017  
 2. Ausfallarbeit: BNA Quartalsberichte 2017

# Strommix Deutschland 1990–2017 (disponibel und indisponibel)



Quelle: AGEB – Stand: 02.02.2018

## Versorgungssicherheit – Eine Herausforderung der Energiewende

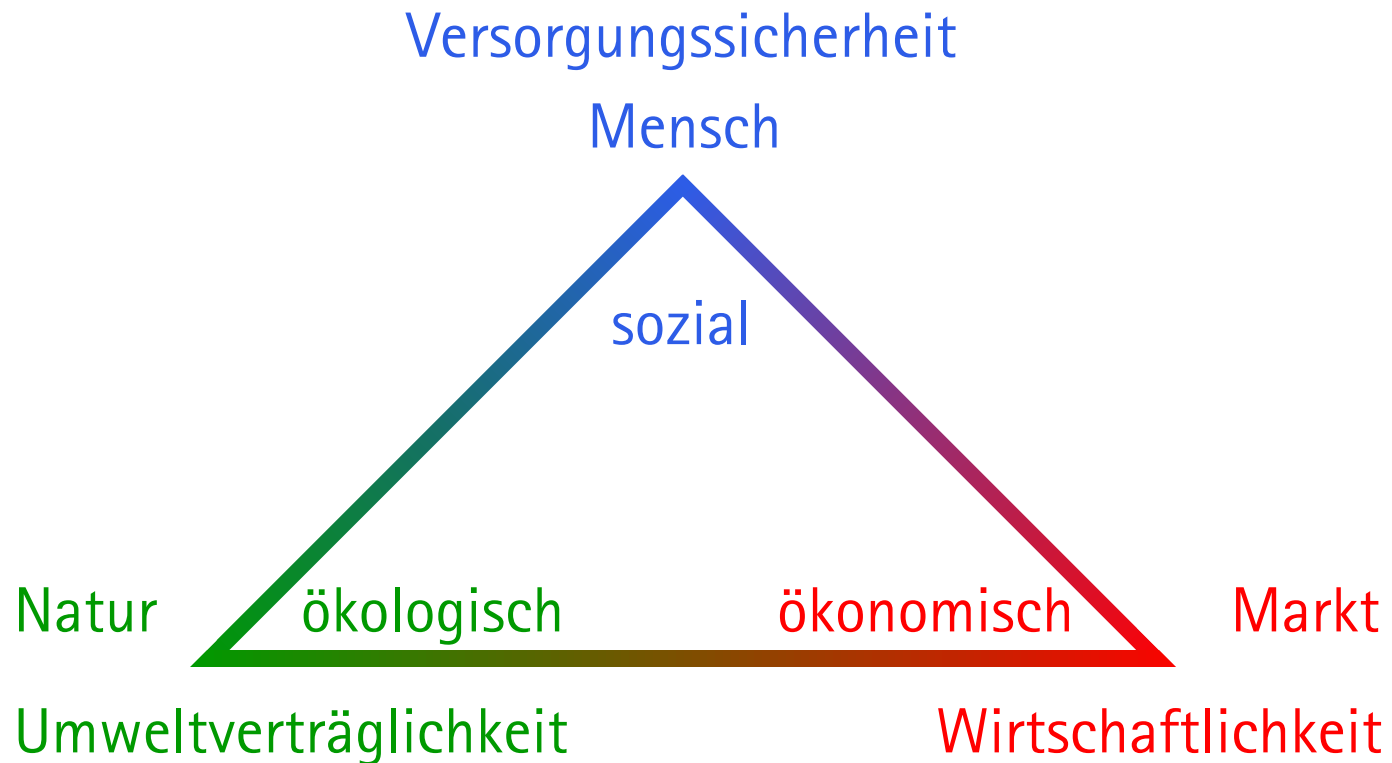
1. Was wollen wir erreichen und wo stehen wir heute ?
2. Welche Herausforderungen kommen auf uns zu ?
3. Was sollten wir beachten und was können wir tun ?

# Die Stadt ohne Strom – Albtraum der Versorgungsindustrie



Quelle: <http://tvblogs.nationalgeographic.com/files/2013/10/blackout2-590x331.jpg>

# Das Zieldreieck der Energiewirtschaft



# § 1 Absatz (1) Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)

Versorgungssicherheit

Zweck des Gesetzes ist eine möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität und Gas, die zunehmend auf erneuerbaren Energien beruht.

Umweltverträglichkeit

Wirtschaftlichkeit



# Was bedeutet Versorgungssicherheit ?

## Aufgaben der Stromerzeuger

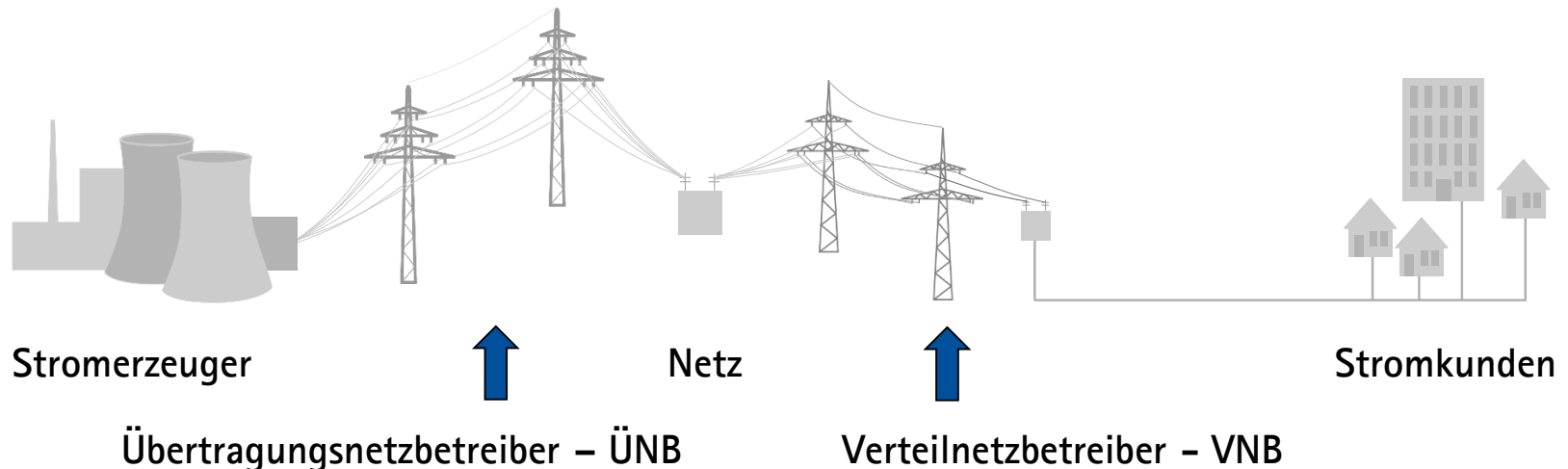
- Gesicherte Leistung
- Systemdienstleistungen
- Hohe Verlässlichkeit

## Aufgaben der Netzbetreiber

- Leistungsregelung
- Spannungshaltung
- Frequenzhaltung
- Netzwiederaufbau
- Netzbetriebsführung
- Engpassmanagement
- N-1-Sicherheit im Netz

## Erwartungen der Kunden

- Unterbrechungsfreie Versorgung
- Niedrige Spannungsschwankungen
- Niedrige Frequenzschwankungen



# Blackout in Italien

28.9.2003, 01:00 Uhr

28.9.2003, 03:20 Uhr



Quelle: E.ON

# Was bedeutet Versorgungssicherheit?

## Aufgaben der Stromerzeuger

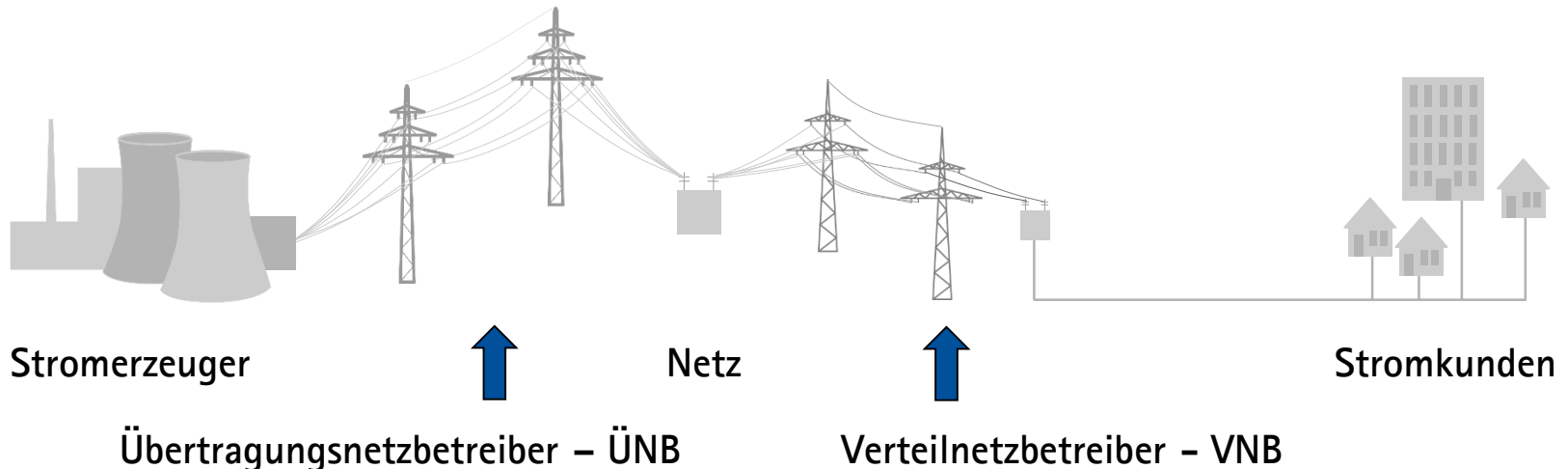
- Gesicherte Leistung
- Hohe Verlässlichkeit
- Systemdienstleistungen

## Aufgaben der Netzbetreiber

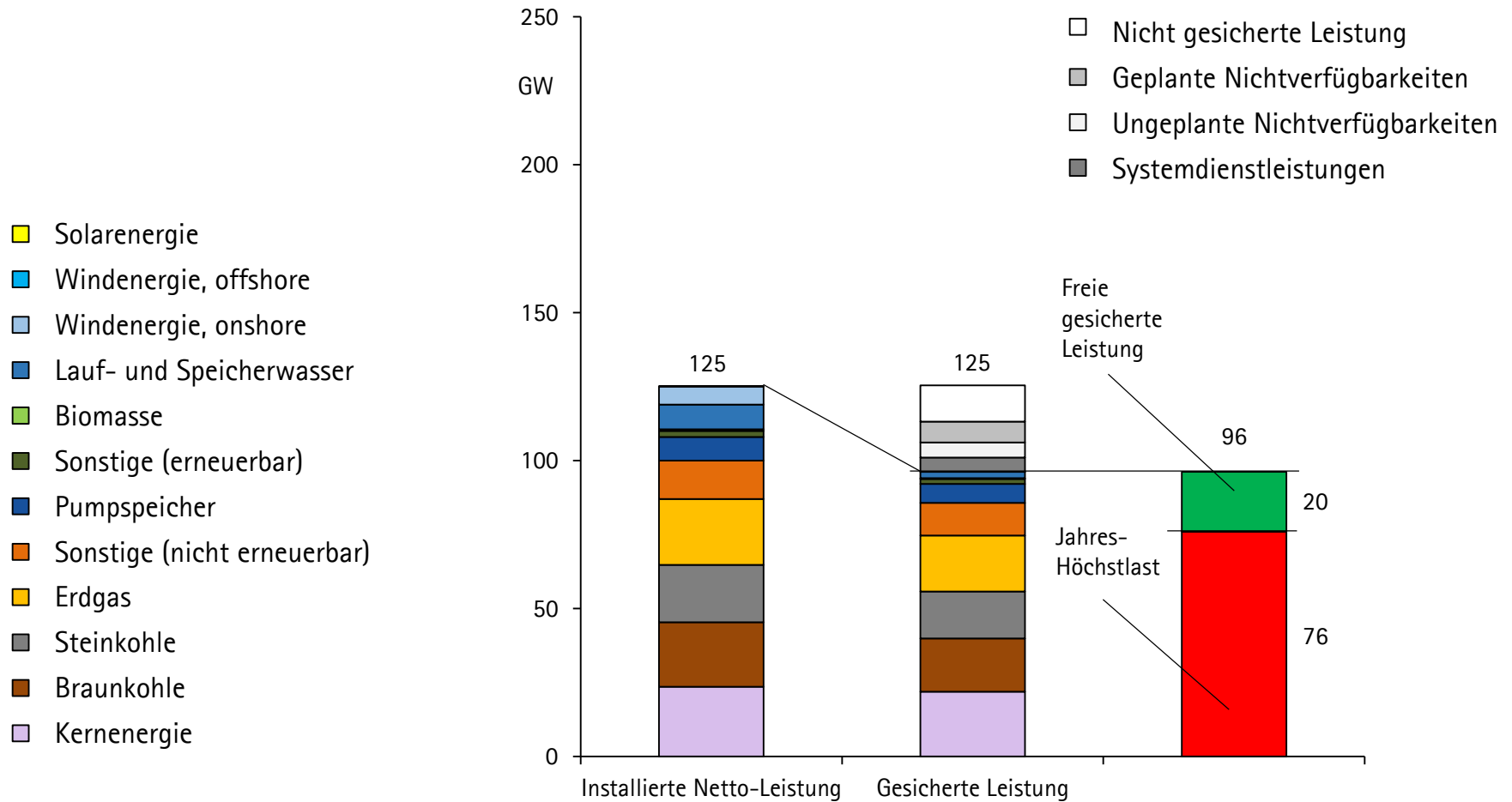
- Leistungsregelung
- Spannungshaltung
- Frequenzhaltung
- Netzwiederaufbau
- Netzbetriebsführung
- Engpassmanagement
- N-1-Sicherheit im Netz

## Erwartungen der Kunden

- Unterbrechungsfreie Versorgung
- Niedrige Spannungsschwankungen
- Niedrige Frequenzschwankungen

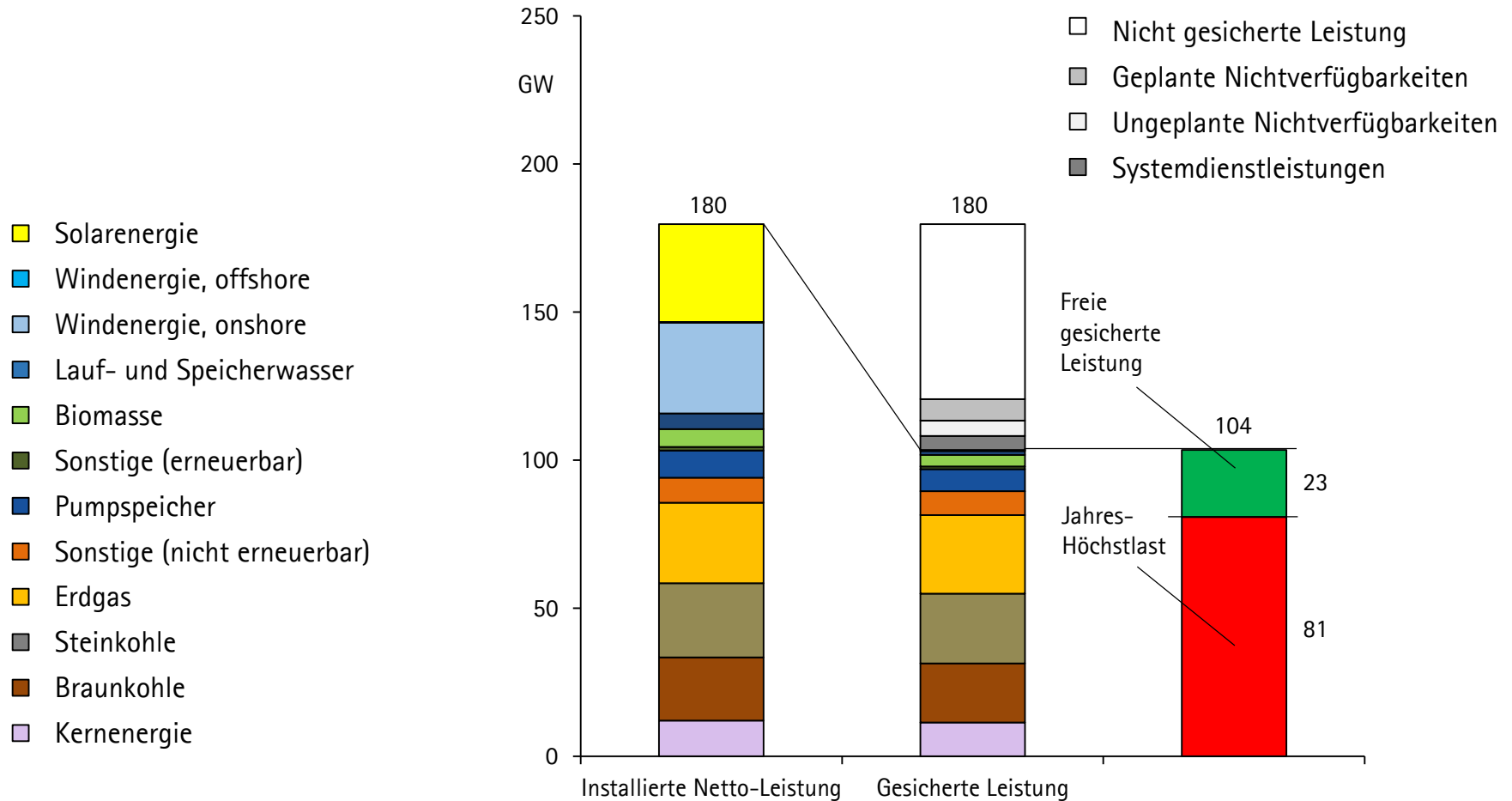


# Gesicherte Leistung und Jahreshöchstlast 2000



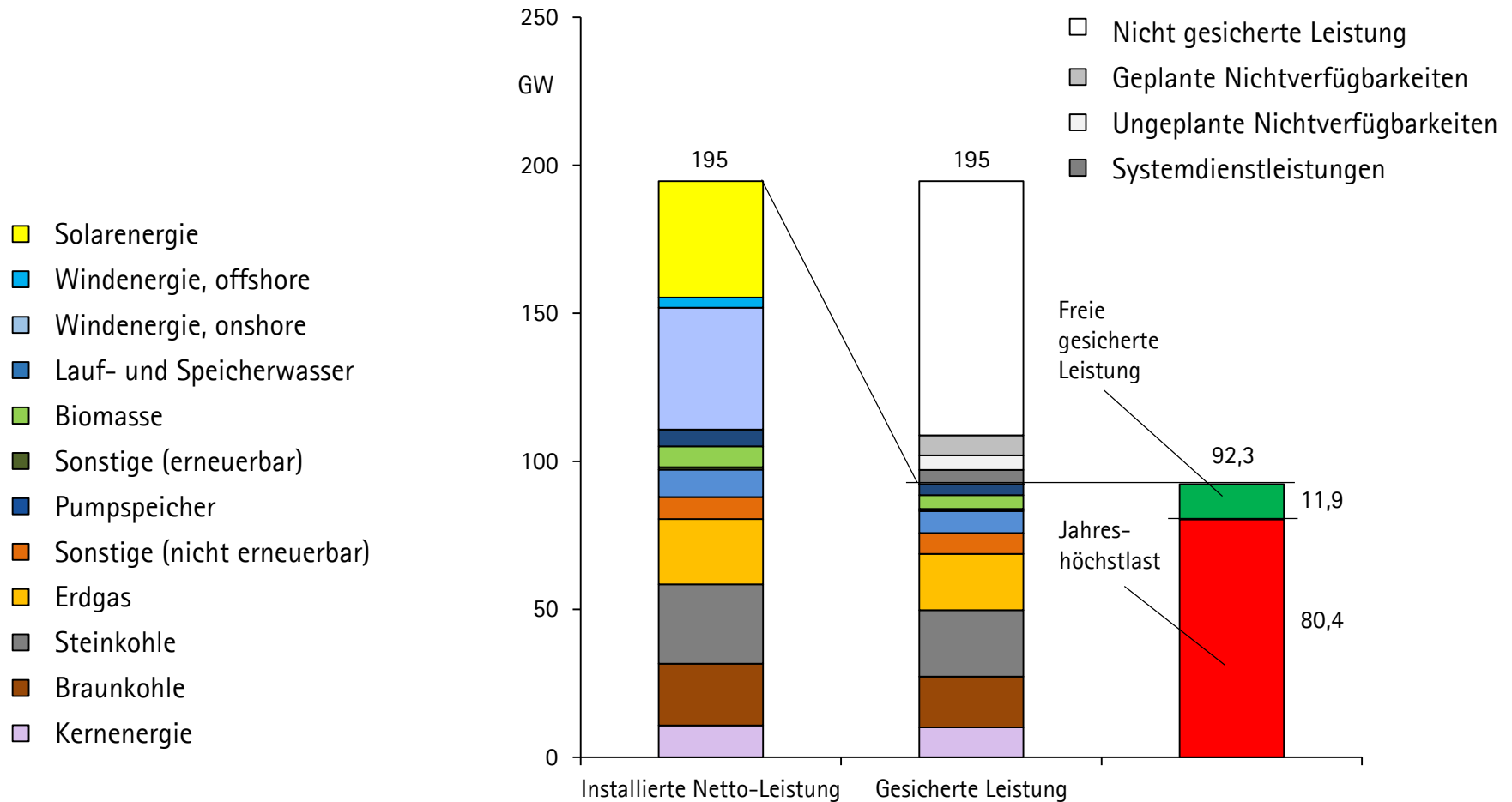
Quelle: www.bmwi.de – Energiedaten und eigene Berechnungen

# Gesicherte Leistung und Jahreshöchstlast 2013



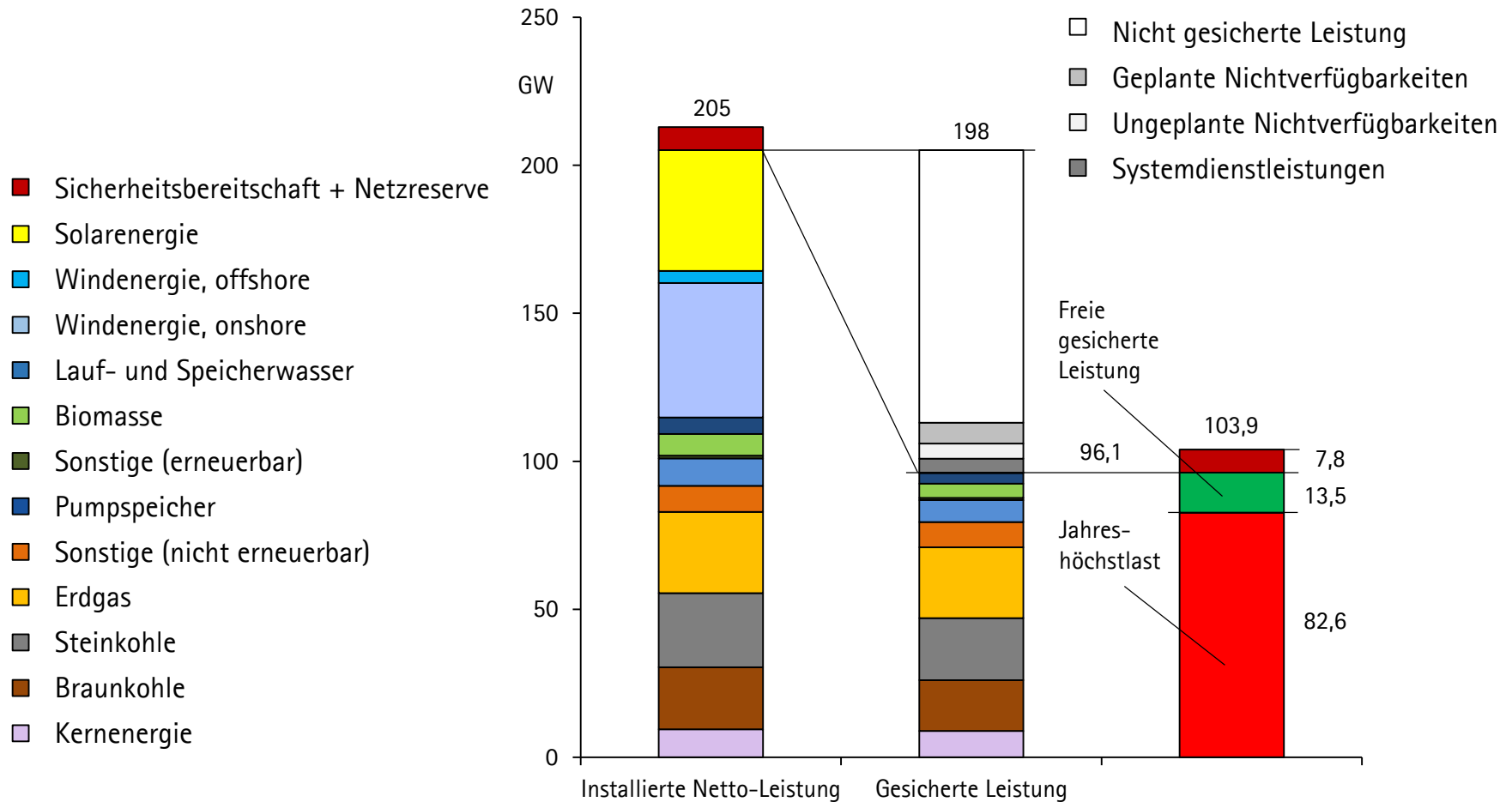
Quellen: 1. [www.bundesnetzagentur.de](http://www.bundesnetzagentur.de) – Kraftwerkliste – Stand: 29. Oktober 2014 und  
 2. Bericht der deutschen Übertragungsnetzbetreiber zur Leistungsbilanz 2014 nach EnWG § 12 Abs. 4 und 5 – Stand: 30. September 2014

# Gesicherte Leistung und Jahreshöchstlast 2016



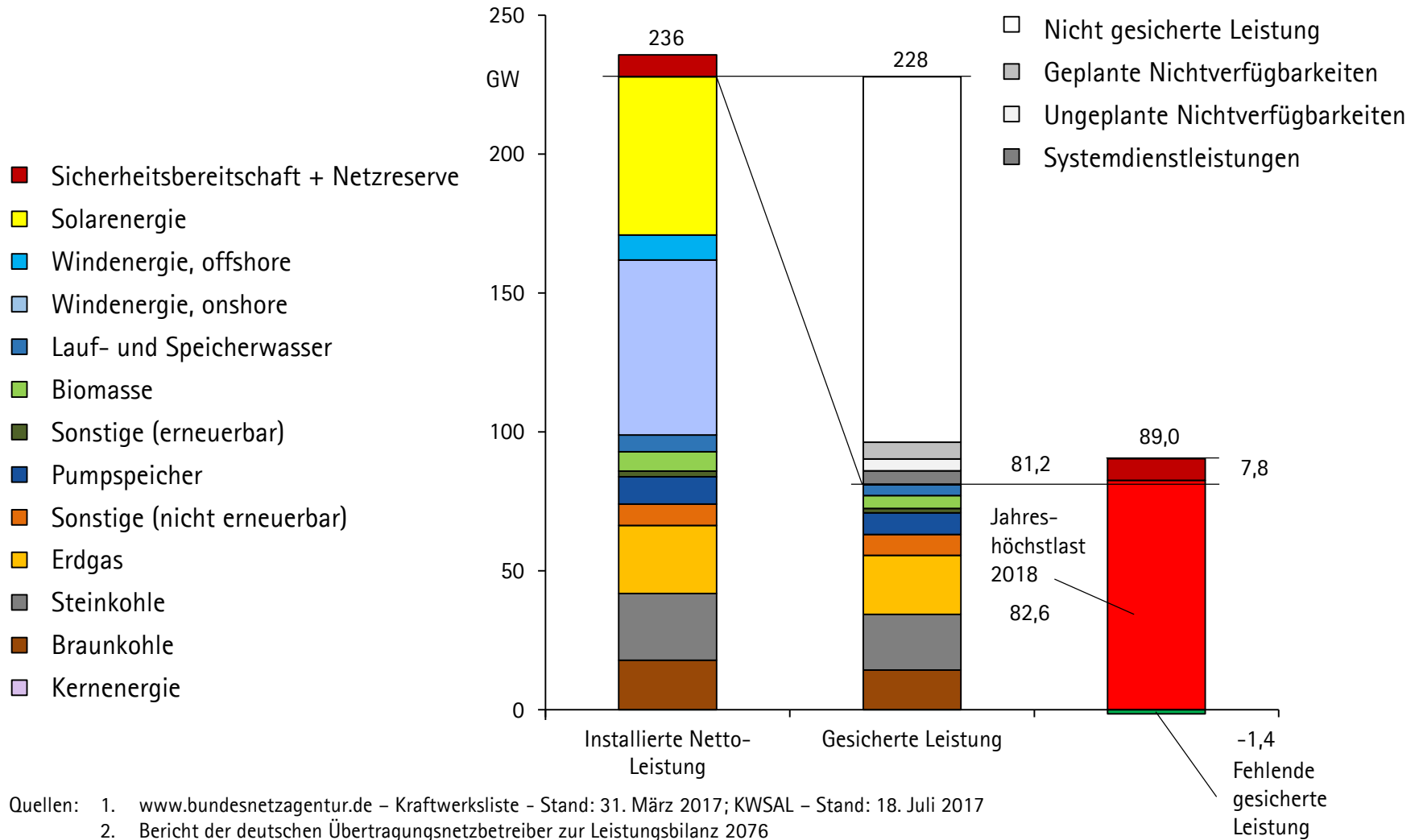
Quellen: 1. www.bundesnetzagentur.de – Kraftwerkliste – Stand: 31. März 2017; KWSAL – Stand: 18. Juli 2017  
 2. Bericht der deutschen Übertragungsnetzbetreiber zur Leistungsbilanz 2017

# Gesicherte Leistung und Jahreshöchstlast 2018



Quellen: 1. www.bundesnetzagentur.de – Kraftwerkliste – Stand: 31. März 2017; KWSAL – Stand: 18. Juli 2017  
 2. Bericht der deutschen Übertragungsnetzbetreiber zur Leistungsbilanz 2017

# Gesicherte Leistung und Jahreshöchstlast 2023



Quellen: 1. www.bundesnetzagentur.de – Kraftwerkliste – Stand: 31. März 2017; KWSAL – Stand: 18. Juli 2017  
 2. Bericht der deutschen Übertragungsnetzbetreiber zur Leistungsbilanz 2017/6



# Was bedeutet Versorgungssicherheit für die Stromerzeuger?

## Aufgaben der Stromerzeuger

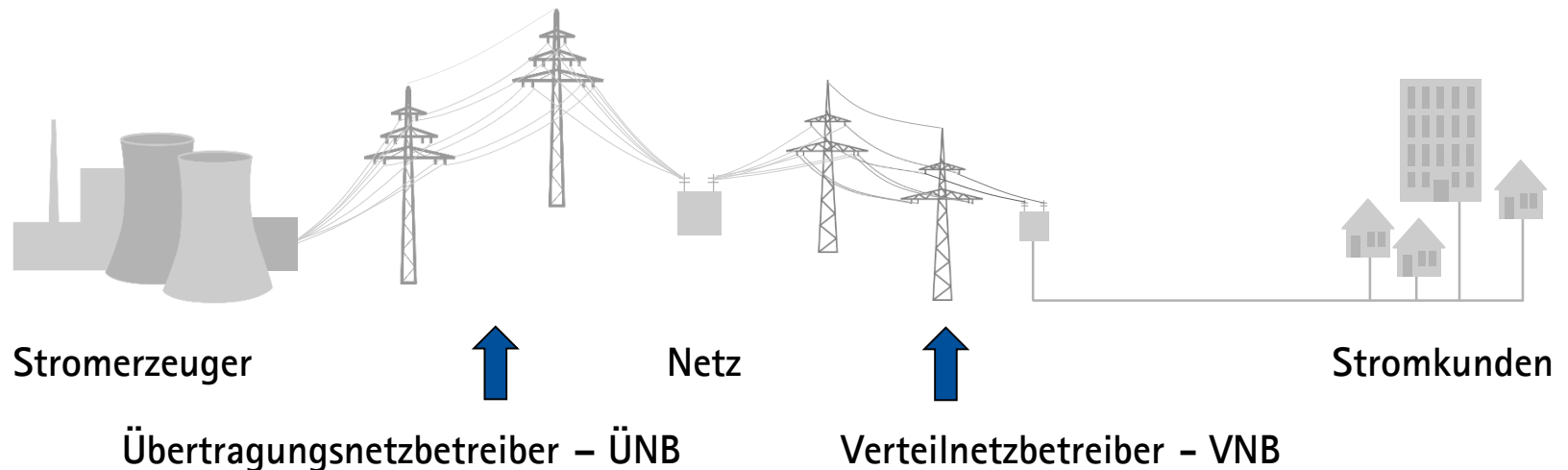
- Gesicherte Leistung
- **Hohe Verlässlichkeit**
- Systemdienstleistungen

## Aufgaben der Netzbetreiber

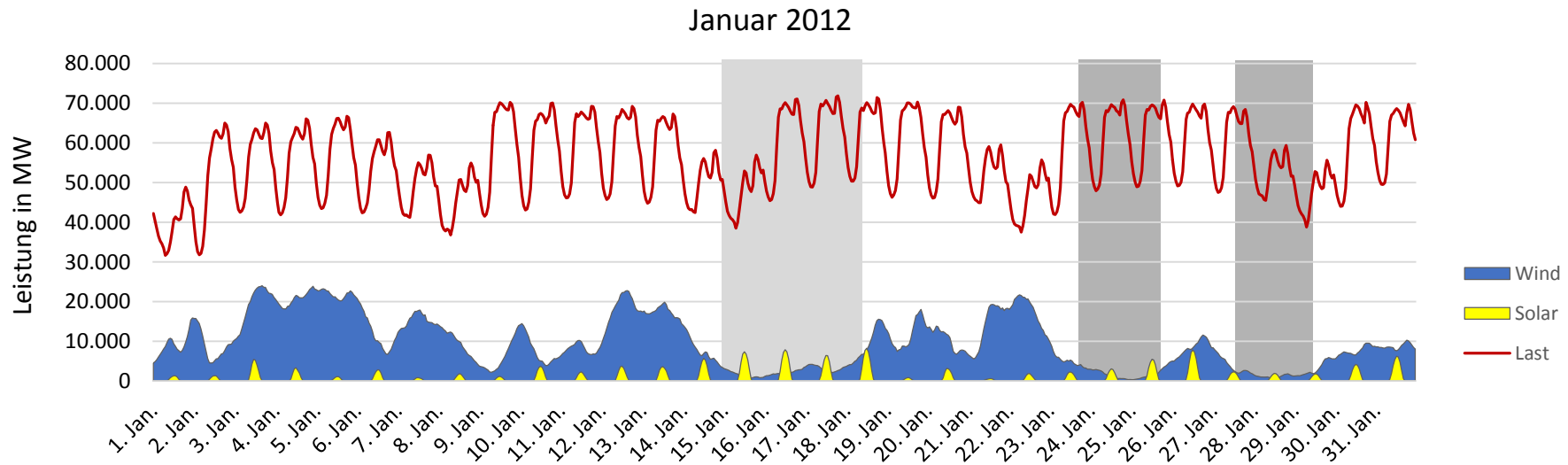
- Leistungsregelung
- Spannungshaltung
- Frequenzhaltung
- Netzwiederaufbau
- Netzbetriebsführung
- Engpassmanagement
- N-1-Sicherheit im Netz

## Erwartungen der Kunden

- Unterbrechungsfreie Versorgung
- Niedrige Spannungsschwankungen
- Niedrige Frequenzschwankungen



# Das Phänomen Dunkelflaute



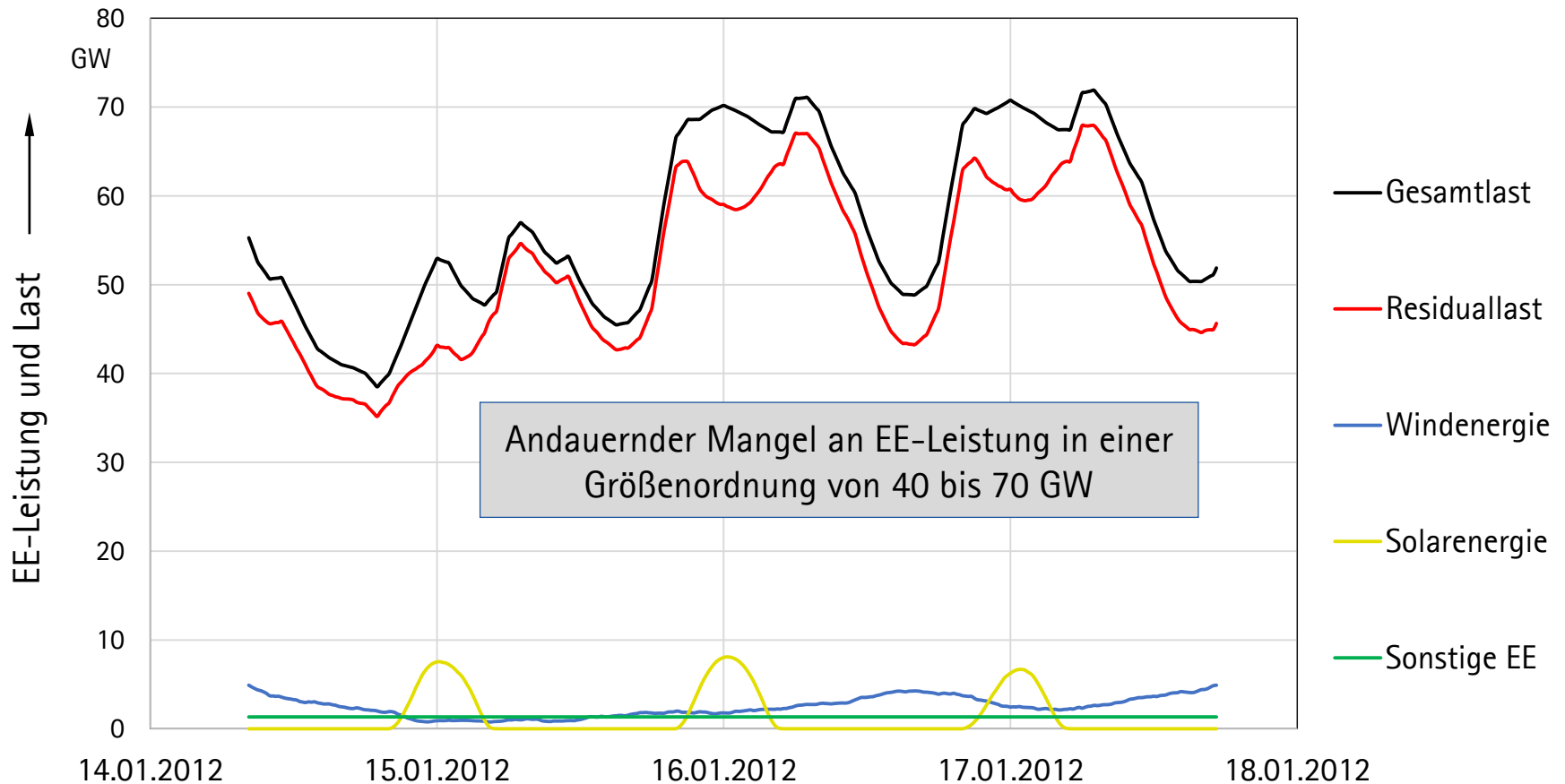
Monat	2012	2013	2014	2015	2016
Januar	2	3	2	2	2
Februar	1	4	0	0	0
März	0	0	0	0	0
Oktober	0	0	0	1	0
November	1	3	3	0	0
Dezember	2	2	1	0	1
<b>Summe</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

Einspeisung aus Wind- und Solarenergie jeweils kleiner als 10 Prozent ihrer installierten Gesamtkapazität über eine Dauer von mind. 24 Stunden

Quellen: 1. Einspeisedaten der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB)  
 2. european network of transmission system operators for electricity (entso-e)

# Zeiten geringer Einspeisung von EEG-Strom – Die Dunkelflaute

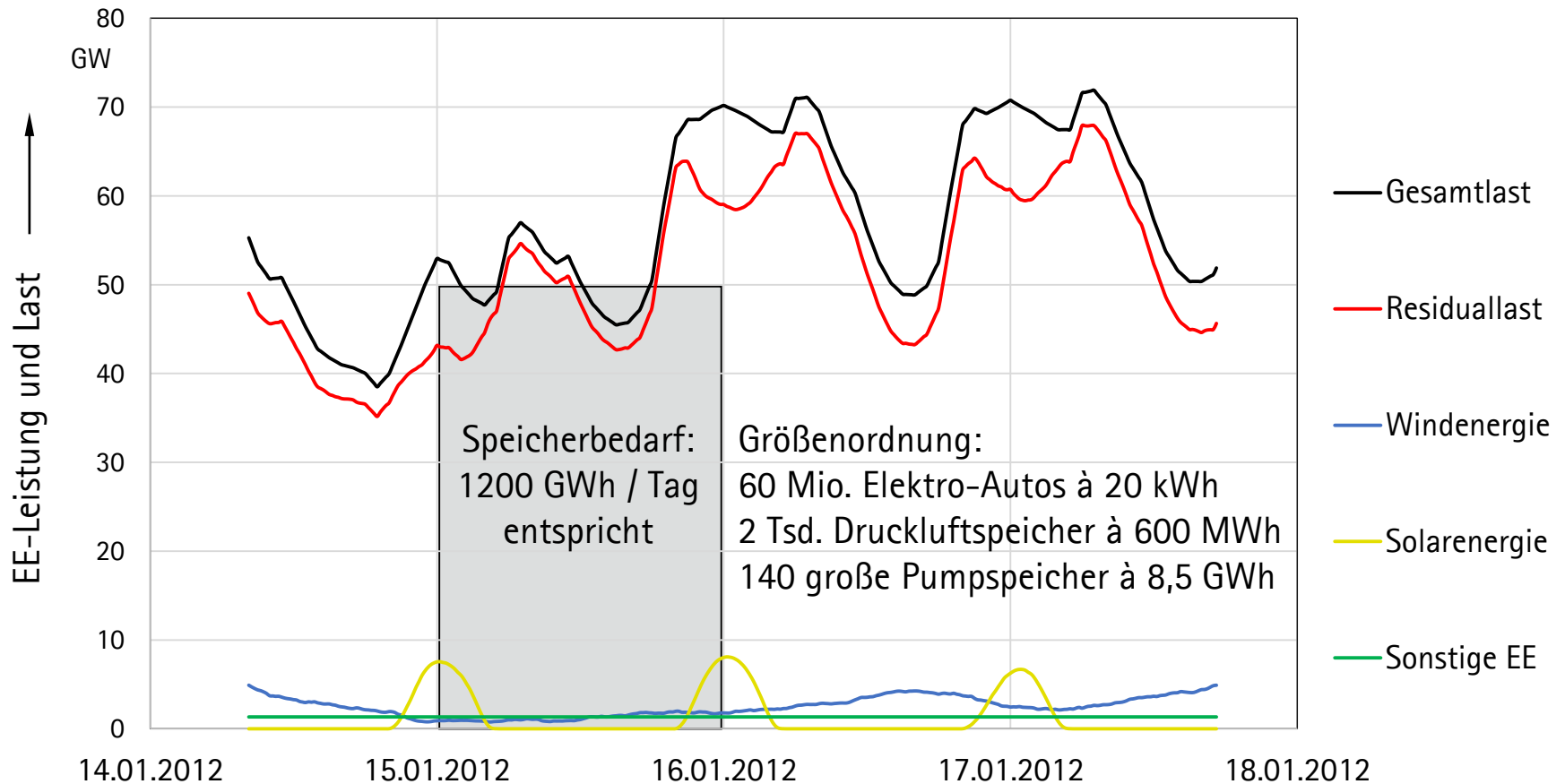
Dunkelflaute im Januar 2012



Quellen: 1. Einspeisedaten der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB); 2. european network of transmission system operators for electricity (entso-e)

# Die Dunkelflaute – Energiespeicher zur Deckung des Mangels?

Dunkelflaute im Januar 2012



Quellen: 1. Einspeisedaten der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB); 2. european network of transmission system operators for electricity (entso-e)

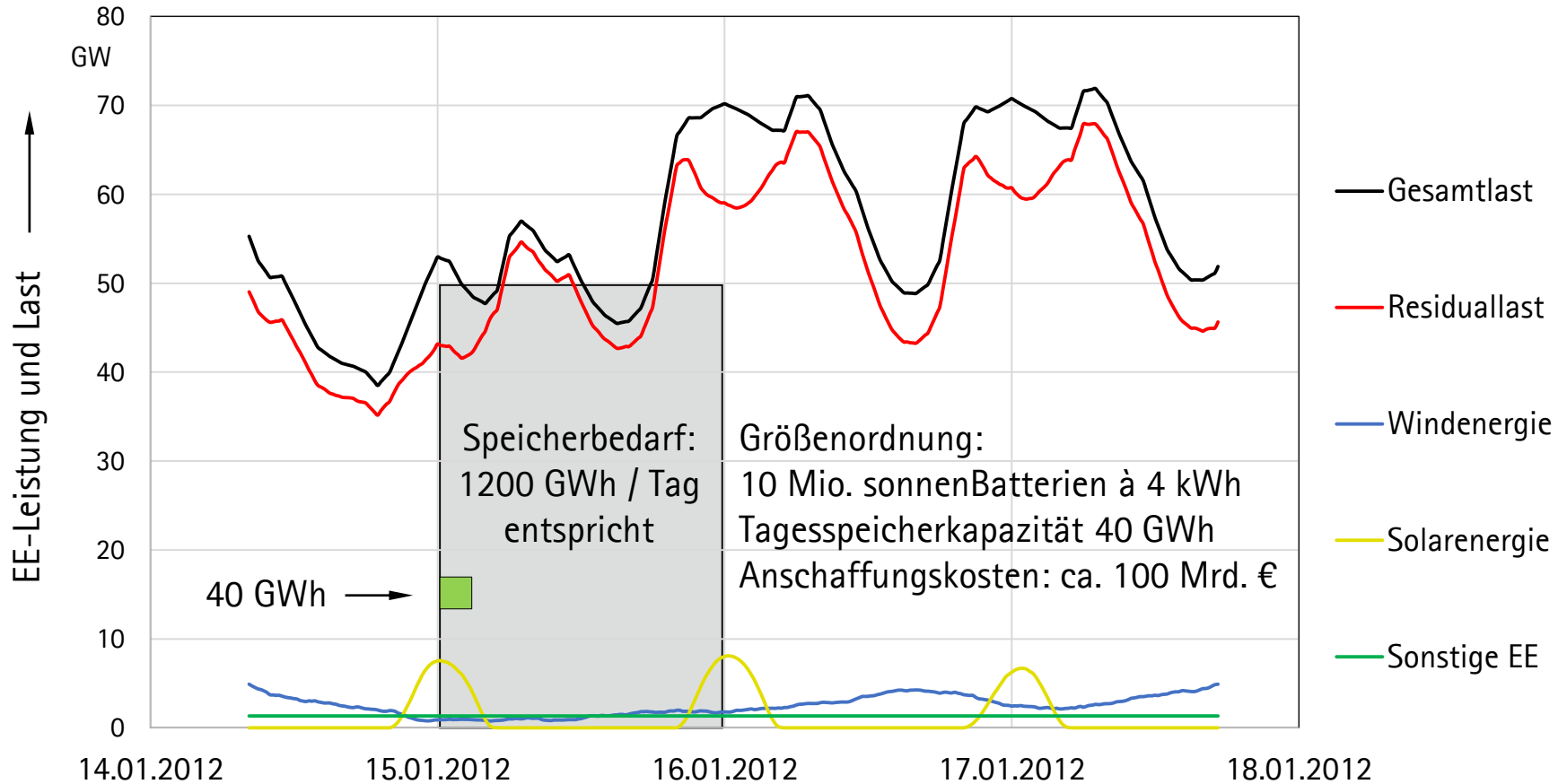
# Energiespeicher für zu Hause– Was ist heute möglich?



System			Lithium-Ionen (Ni, Mn, Co)	Lithium-Ionen	Lithium- Eisenphosphat	Lithium- Eisenphosphat	Lithium-Ionen
Kapazität	$W$	kWh	2,3	4,2	2,8	4,0	13,5
Abmessungen	$H \times B \times T$	cm <sup>3</sup>	47 x 43 x 29	140 x 70 x 25	132 x 60 x 40	137 x 64 x 22	115 x 76 x 16
Spannung	$U$	V	39,7 - 54	?	400 V AC	?	?
Dauer- Spitzenleistung	$P_D / P_P$	kW / kW	1,25 / -	3,0 / 6,0	2,4 / -	2,5 / -	5,0 / 7,0
Preis ohne Montage		€	5411,-	4165,-	7952,-	ca. 8500,-	ca. 6000,-

# Die Dunkelflaute – Energiespeicher zu Hause ?

Dunkelflaute im Januar 2012



Quellen: 1. Einspeisedaten der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB); 2. european network of transmission system operators for electricity (entso-e)

# Was bedeutet Versorgungssicherheit?

## Aufgaben der Stromerzeuger

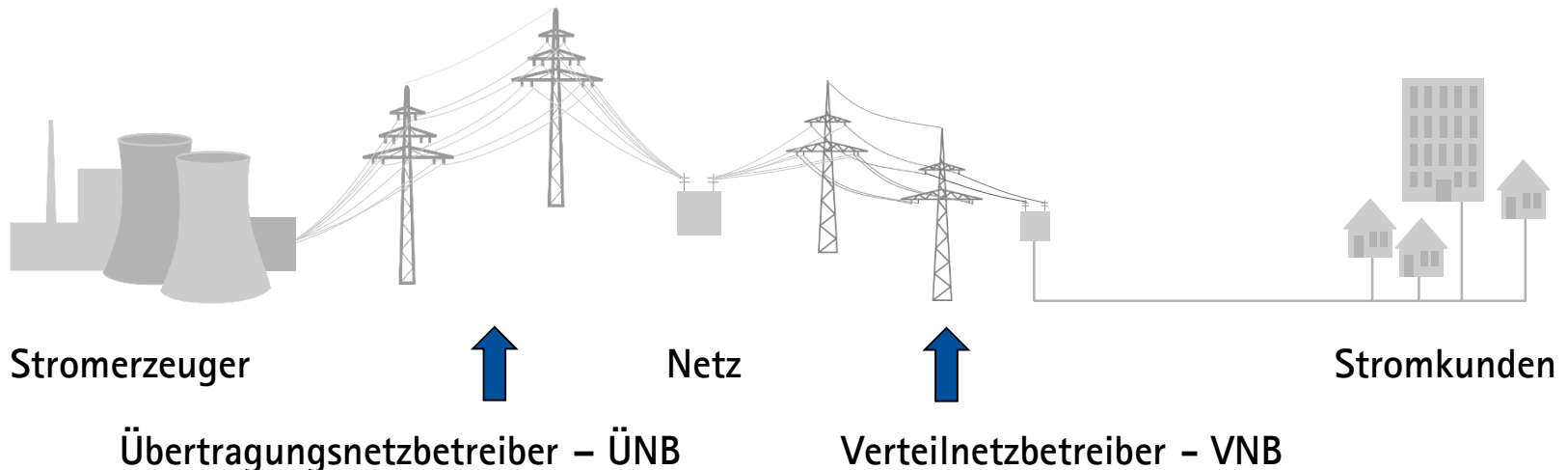
- Gesicherte Leistung
- Hohe Verlässlichkeit
- Systemdienstleistungen

## Aufgaben der Netzbetreiber

- Leistungsregelung
- Spannungshaltung
- Frequenzhaltung
- Netzwiederaufbau
- Netzbetriebsführung
- Engpassmanagement
- N-1-Sicherheit im Netz

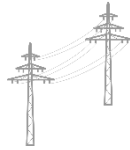
## Erwartungen der Kunden

- Unterbrechungsfreie Versorgung
- Niedrige Spannungsschwankungen
- Niedrige Frequenzschwankungen



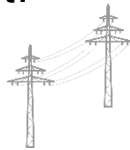
# Aufgaben zur Umsetzung der Systemdienstleistungen

## ▪ Betriebsführung:



- Betriebsplanung, Systemführung und Nachbearbeitung
- Überwachen und Steuern der Netze und Anlagen
- Durchführen von Schalthandlungen, Entstörungsmanagement
- Messungen und Analysen der Spannungs- und Netzqualität
- Bezugsoptimierung

## ▪ Engpassmanagement:

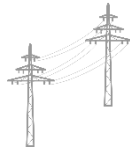


- Auswertung der Betriebsplanung
- Erkennen von Übertragungsengpässen im Netz
- Einleitung Gegenmaßnahmen. (Redispatch von Erzeugungsleistung)

## ▪ Frequenzhaltung:



+

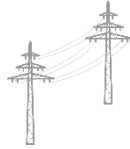


- Planung, Ausschreibung und Vergabe der Regelleistung
- Laufende Verfolgung der Netzfrequenz
- Anforderung der Regelleistung

## ▪ Spannungshaltung:



+

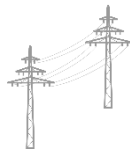


- Planung, Ausschreibung und Vergabe von Blindleistung
- Laufende Verfolgung der Netzspannung
- Anforderung der Blindleistung

## ▪ Versorgungswiederaufbau:



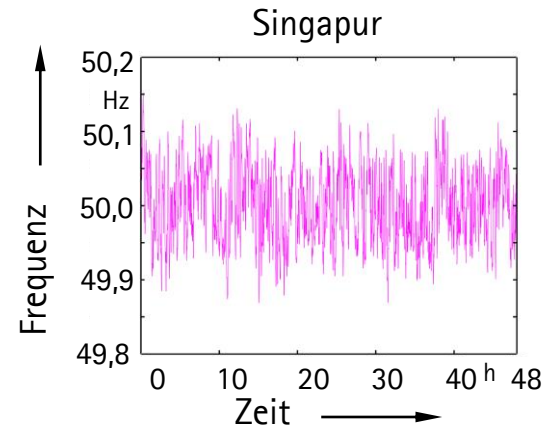
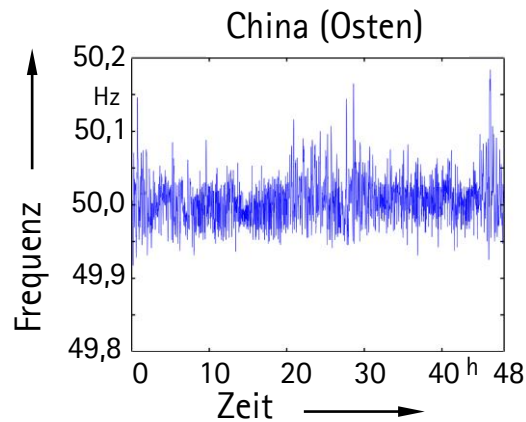
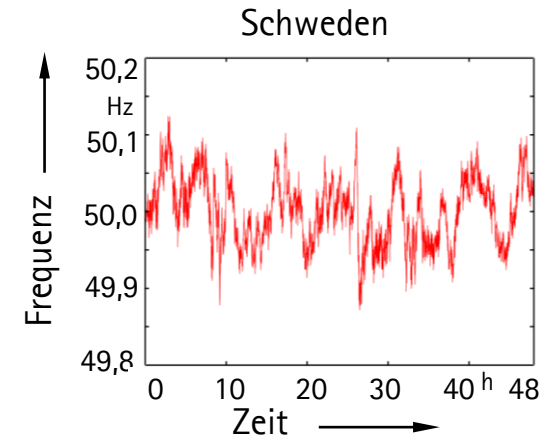
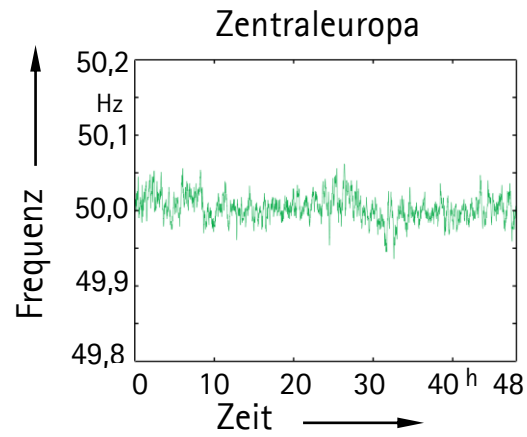
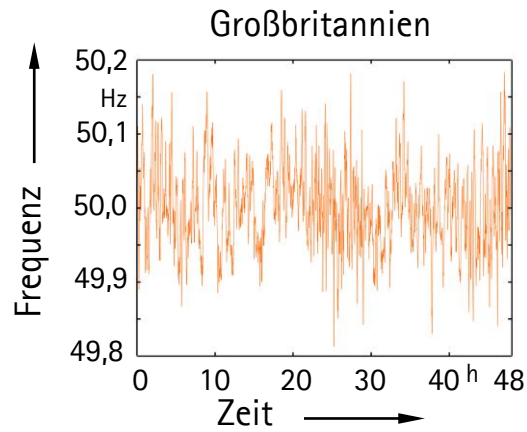
+



- Planung und Sicherstellung der Versorgungswiederaufbaustrategie
- Bereithaltung schwarzstartfähiger Kraftwerke
- Durchführung notwendiger Versorgungswiederaufbaumaßnahmen



# Versorgungsqualität - Frequenzschwankungen

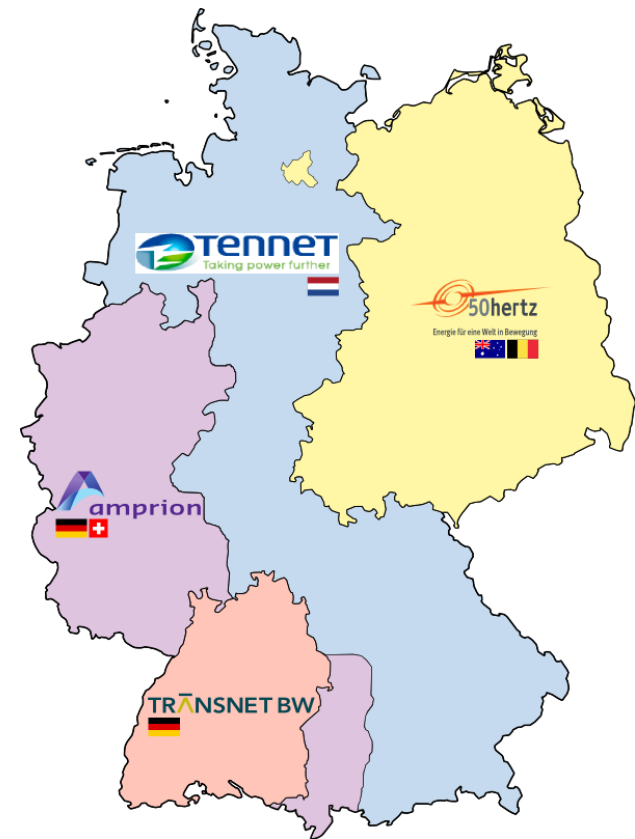
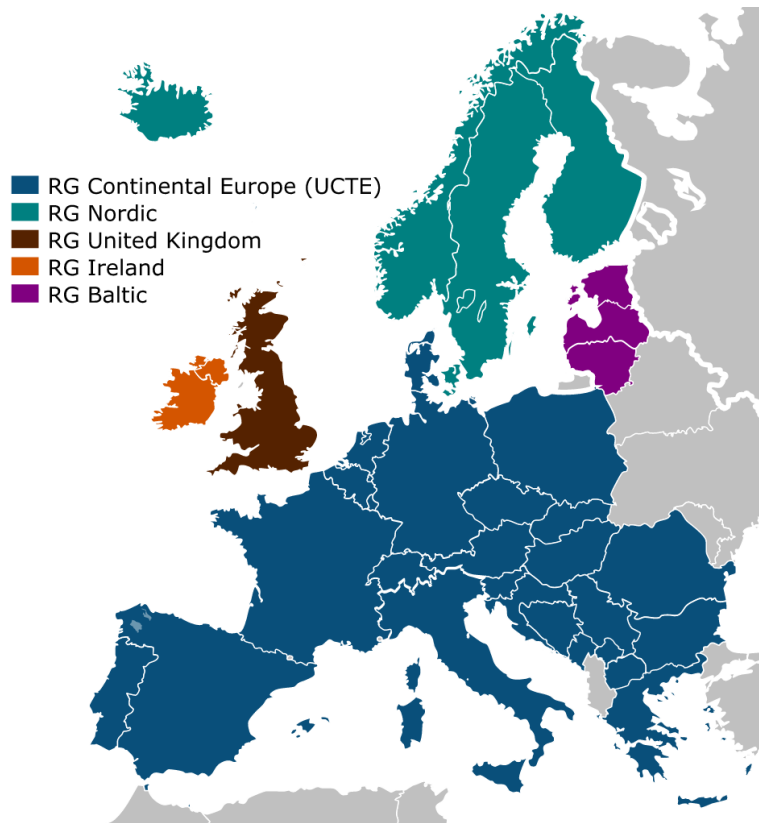


Quelle: Wikipedia – Versorgungsqualität – 9.9.2016

# Europäischer Netzverbund und deutsche Übertragungsnetzbetreiber

European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E)

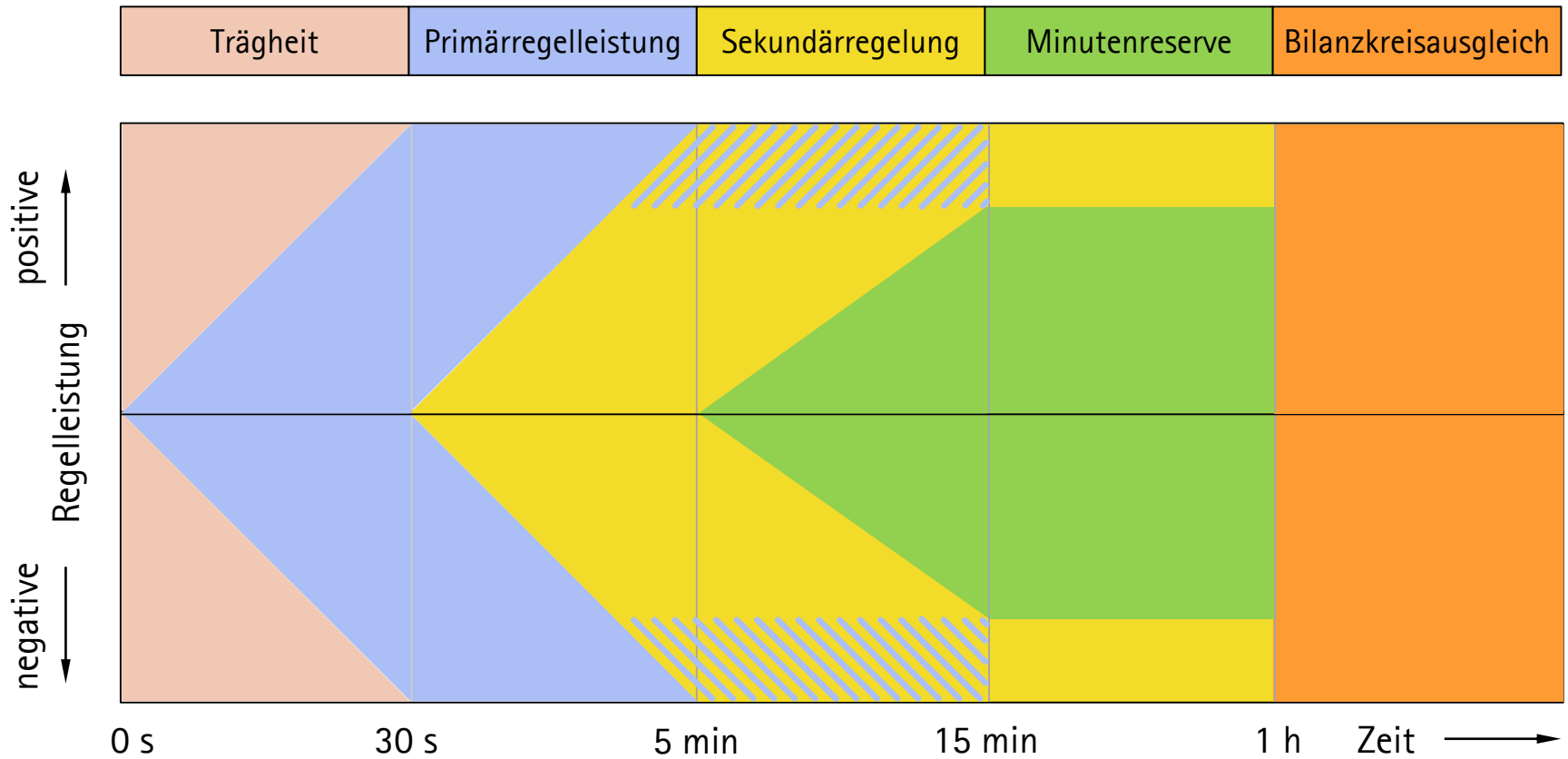
Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland (ÜNB)



Quelle: Wikipedia – Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber – 21.4.2017

Quelle: Wikipedia – Übertragungsnetzbetreiber – 21.4.2017

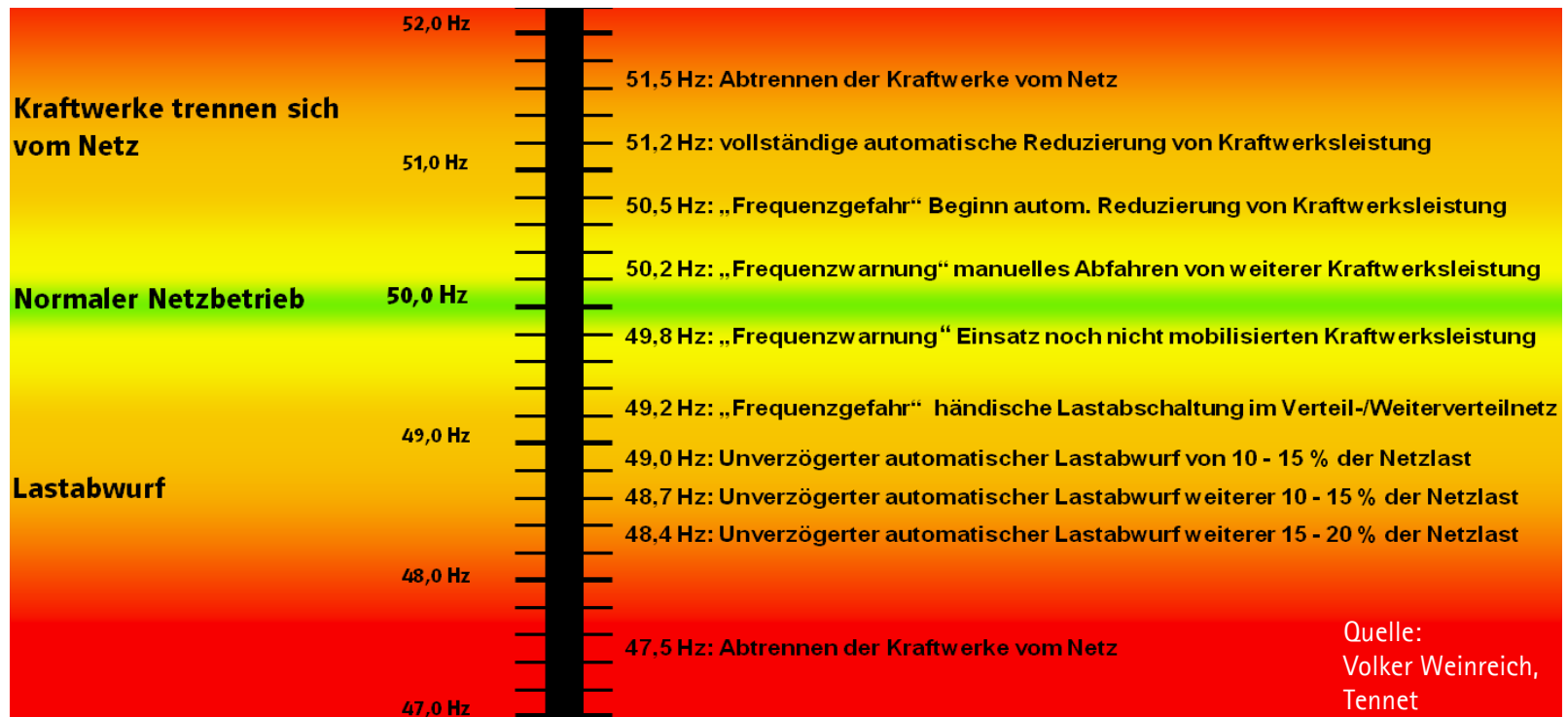
# Regelleistung



Die Regelleistung zur Frequenzhaltung wird im Wesentlichen von konventionellen Kraftwerken bereitgestellt.

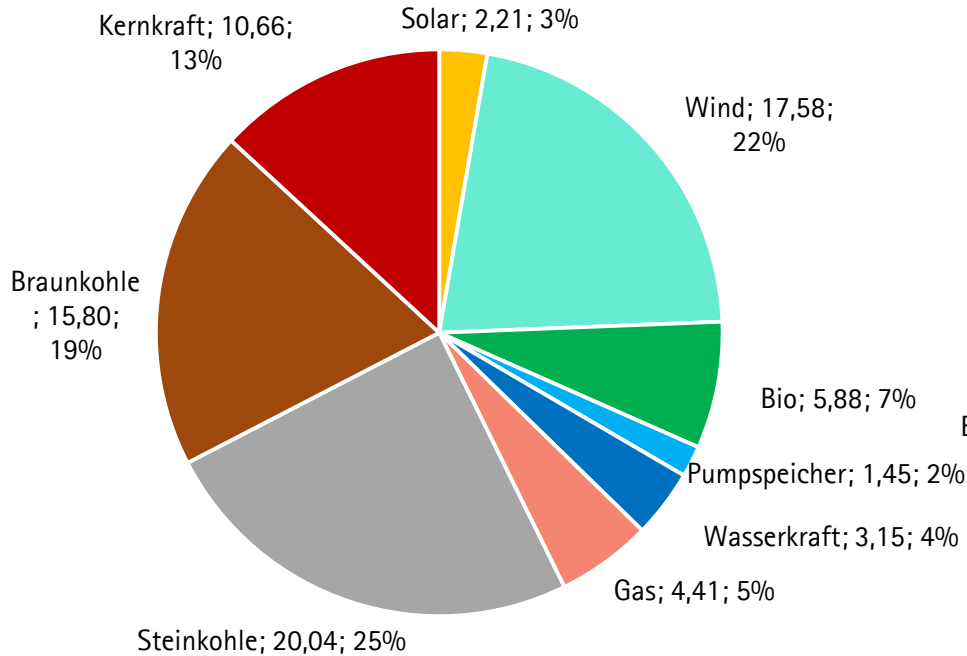
# Welche Folgen ziehen Frequenzabweichungen nach sich ?

- Eine Abweichung von ca. 2 GW führt zu einer Frequenzänderung von ca. 100 mHz
- $\pm 3$  GW PRL stabilisieren die Frequenz zwischen 49,8 und 50,2 Hz
- In Deutschland halten die ÜNB im NRV ca.  $\pm 4$  GW SRL/MRL vor
- Maßnahmen bei Frequenzabweichungen:

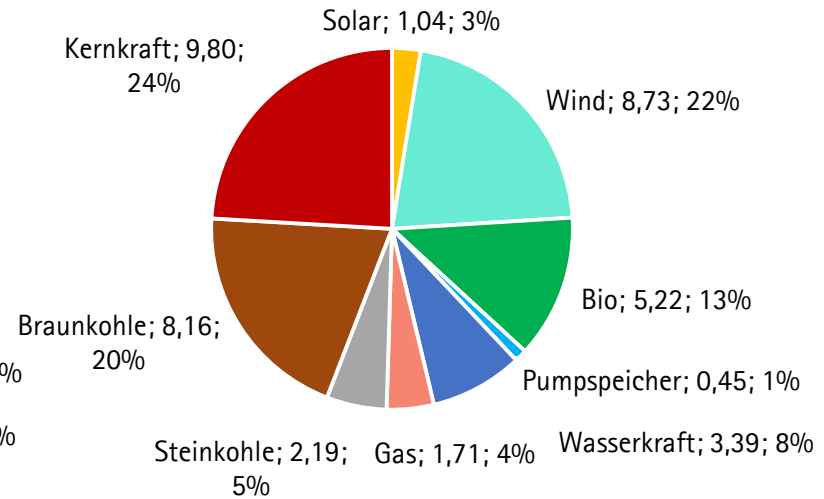


# Bereitstellung von Primärregelleistung

Wintertag (04.02.16 10:00), hohe Gesamtleistung (81,18 GW)    Fröhlingstag (17.05.15 06:00), niedrige Gesamtleistung (40,69 GW)



ausgeschriebene PRL: 793 MW



ausgeschriebene PRL: 783 MW

Annahme: 2 % der konventionellen Leistung und 10 % der Leistung aus Wasserkraft sind als PRL verfügbar

$0,02 * 50,91 \text{ GW} = 1,02 \text{ GW} \rightarrow 128 \% \text{ der ausgeschriebenen PRL}$   
 $0,1 * 3,15 \text{ GW} = 0,32 \text{ GW} \rightarrow 40 \% \text{ der ausgeschriebenen PRL}$

$0,02 * 21,86 \text{ GW} = 0,44 \text{ GW} \rightarrow 56 \% \text{ der ausgeschriebenen PRL}$   
 $0,1 * 3,39 \text{ GW} = 0,34 \text{ GW} \rightarrow 43 \% \text{ der ausgeschriebenen PRL}$

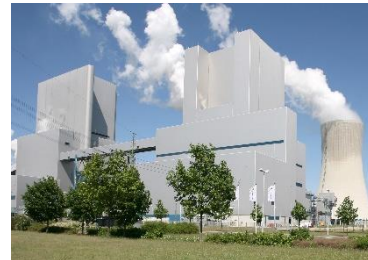
# Wer stellt in Deutschland zur Zeit Regelleistung bereit ?

1. Laufwasserkraftwerke:



Quelle: wikipedia.de

2. Pumpspeicherkraftwerke:



Quelle: leag.de

3. Kernkraftwerke:

4. Kohlekraftwerke:



Quelle: siemens.com

5. Gaskraftwerke:

6. Batterien:



Quelle: wemag.com

# Wie wird Regelleistung zur Zeit in Deutschland erbracht ?

	PRL	SRL	MRL
Laufwasser	Wassermenge	Wassermenge	nicht wirtschaftlich
Pumpspeicher	Wassermenge	Wassermenge	nicht wirtschaftlich
Kernkraft	Turbinenleistung über die Dampfmenge	nicht wirtschaftlich	nicht wirtschaftlich
Braunkohle		Kesselleistung über die Brennstoffmenge	Kesselleistung über die Brennstoffmenge
Steinkohle			
Gas	nicht wirtschaftlich	nicht wirtschaftlich	nicht wirtschaftlich
Müll	-	-	Umleitbetrieb
Biogas	-	-	„Virtuelle Kraftwerke“
Wind	nicht verlässlich	nicht verlässlich	-
Solar	nicht verlässlich	nicht verlässlich	nicht verlässlich
Batterien	Ladung	-	-

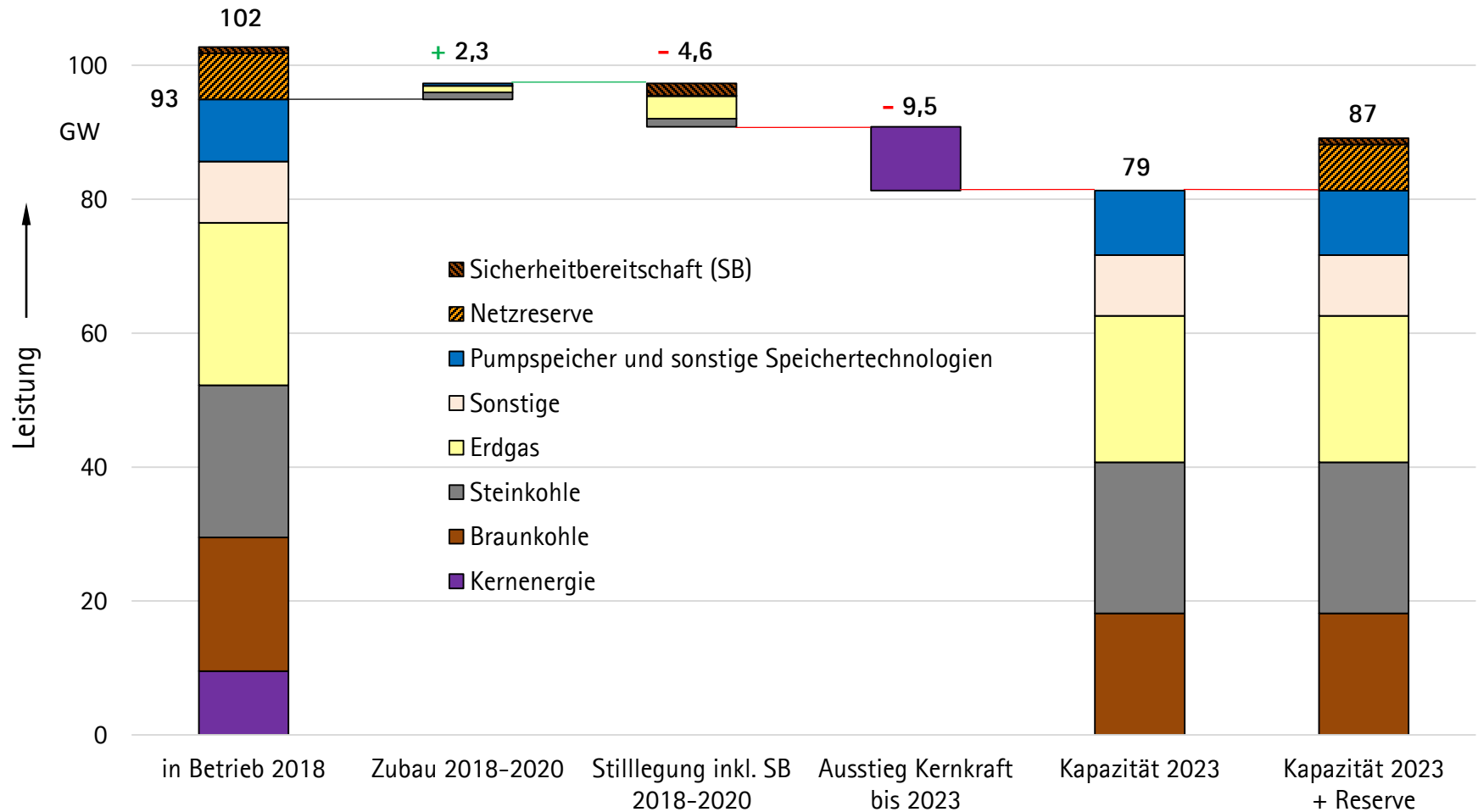
## Inhalt

# Versorgungssicherheit – Eine Herausforderung der Energiewende

1. Was wollen wir erreichen und wo stehen wir heute ?
2. Welche Herausforderungen kommen auf uns zu ?
3. Was sollten wir beachten und was können wir tun ?

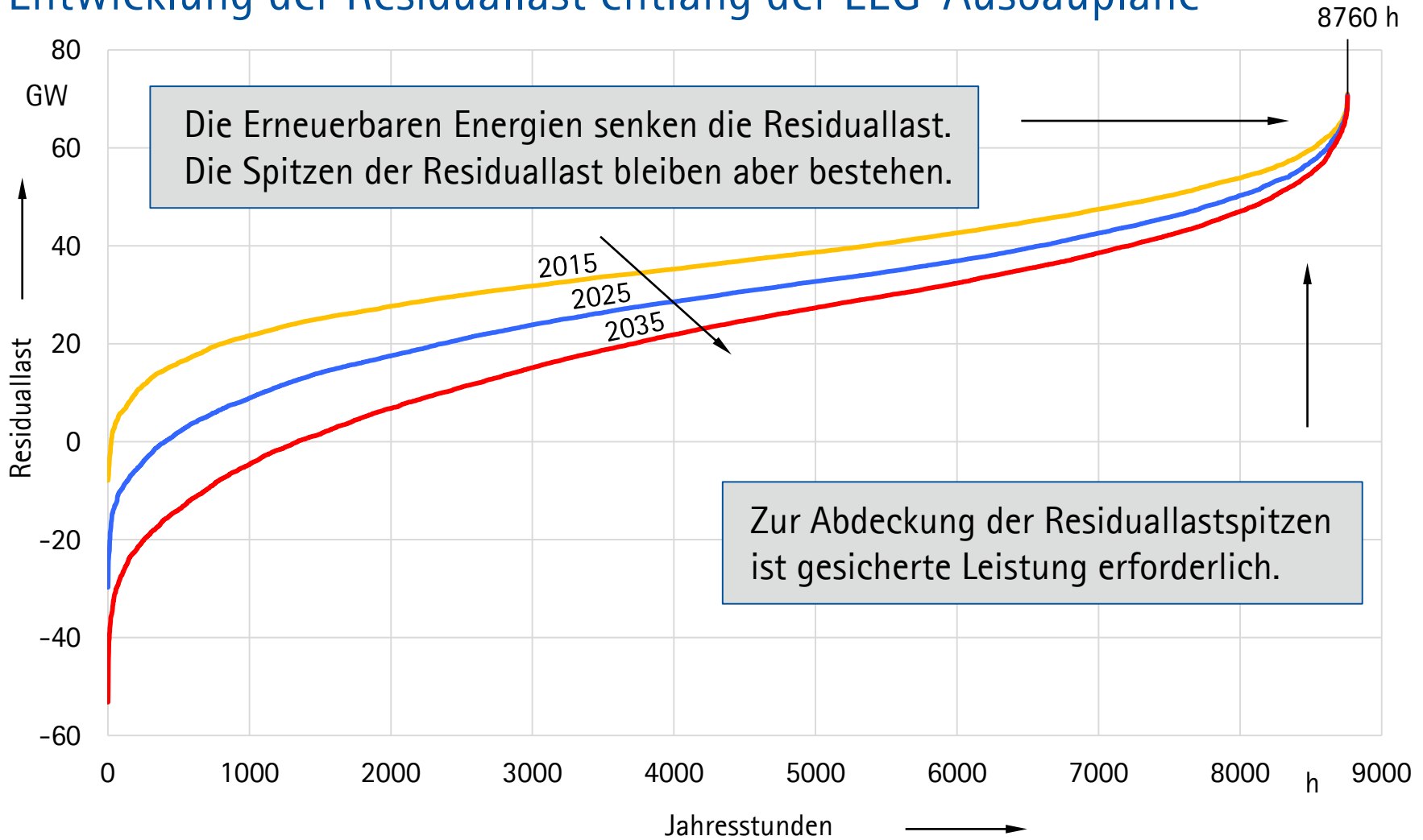


# Geplanter Aus- und Rückbau der konventionellen Kraftwerkskapazität

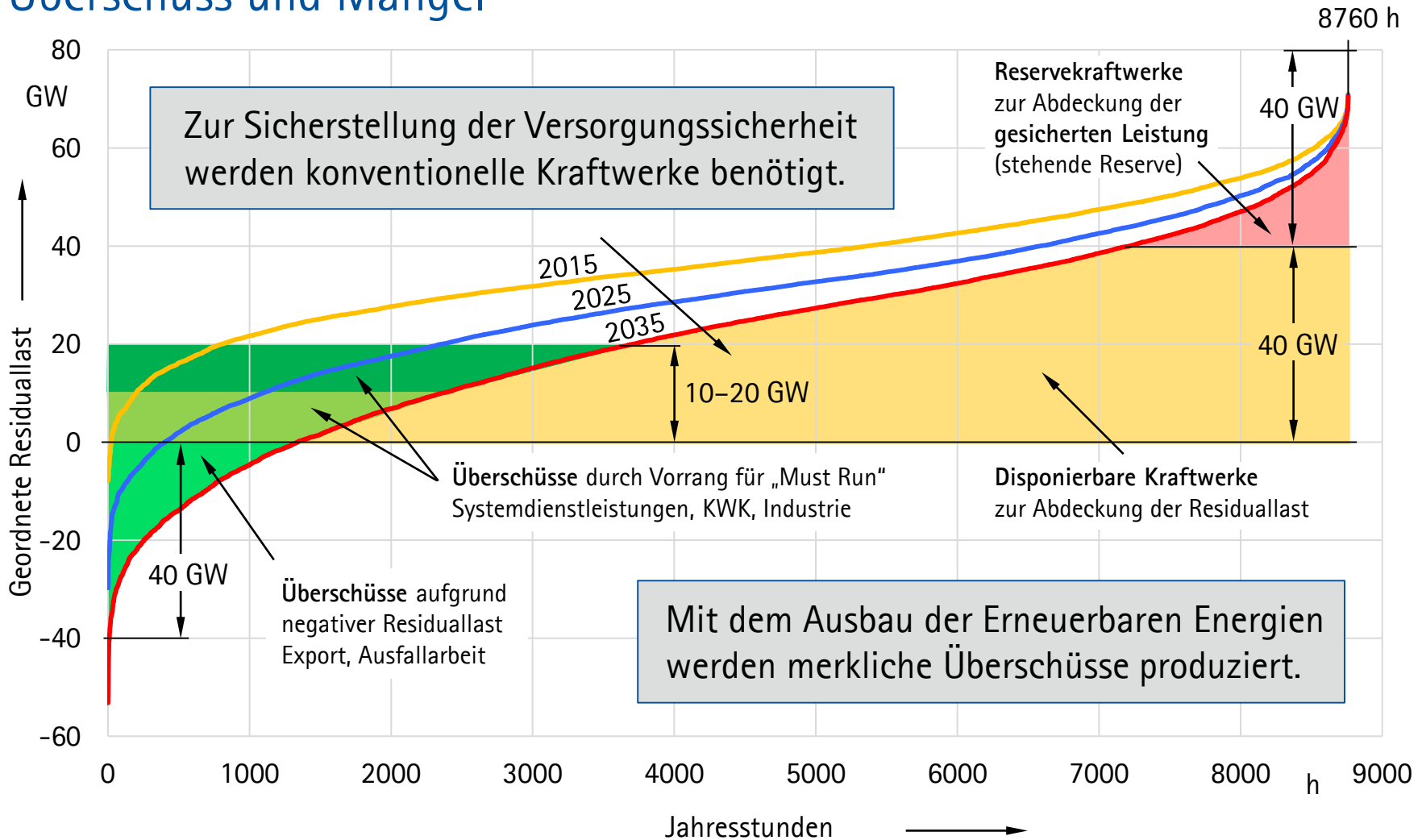


Quelle: Bundesnetzagentur, Kraftwerksliste Stand: 02.02.2018

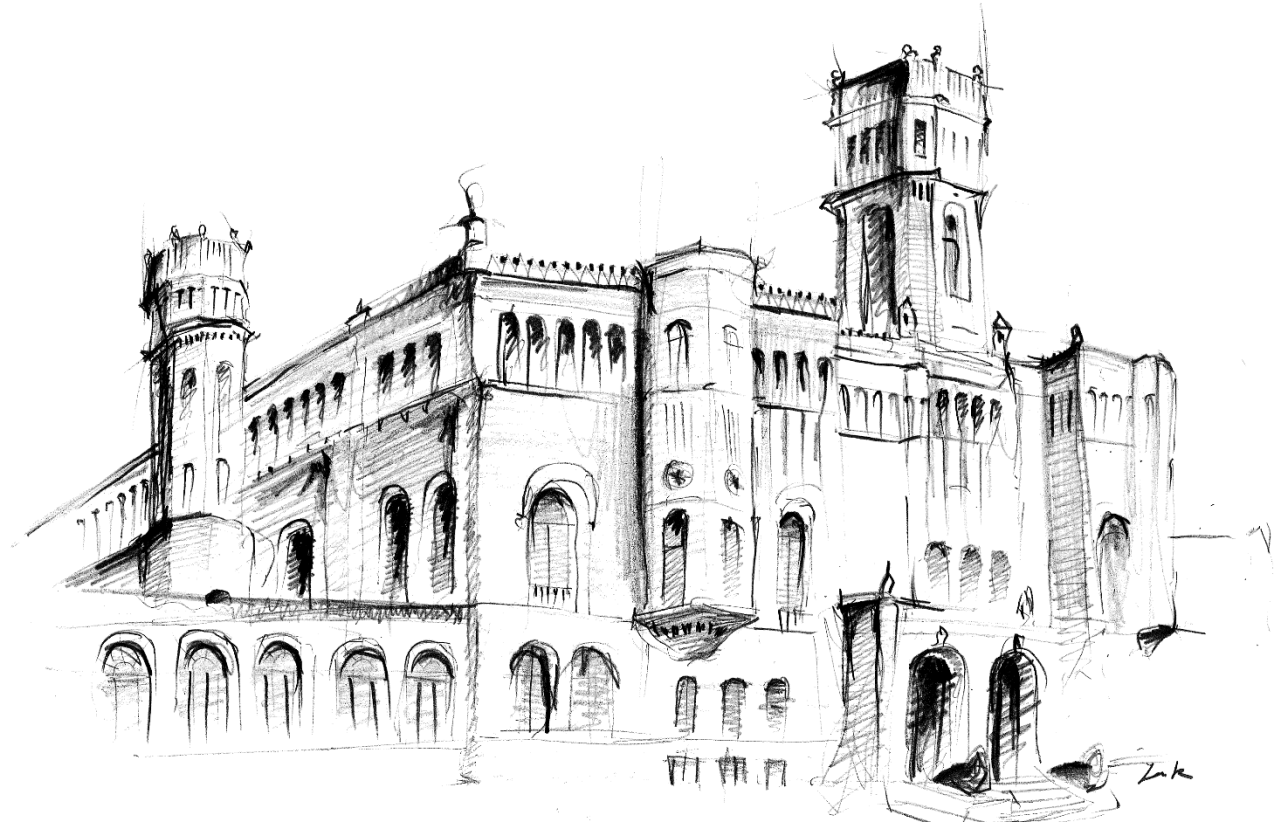
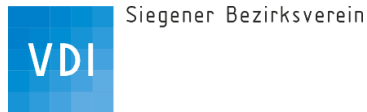
# Entwicklung der Residuallast entlang der EEG-Ausbaupläne



# Überschuss und Mangel



# Institut für Kraftwerkstechnik und Wärmeübertragung



... Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit