

# Windenergie

---

## Technische Machbarkeit der Energiewende

# Windenergie

## Energieverbrauch Deutschland pro Jahr

Masse fossile Energie	500 Mrd kg
Inhalt Primärenergie ca.	3.900 TWh
Batteriespeicher	60 Billionen kg 2 Trillionen €



# Windenergie

## Windturbinen (Ende 2015)

Anzahl WT:	26.500 WT
Nennleistung:	45.000 MW
Ø Nennleistung pro WT:	1,7 MW
Standorte:	Offshore Küstennähe Kämme der Mittelgebirge



# Windenergie

## Windturbinen

### Jahresmittel der Ausbeute\*

2011	2012	2013	2014	2015
19,2 %	18,5 %	17,6 %	16,7 %	22,3 %

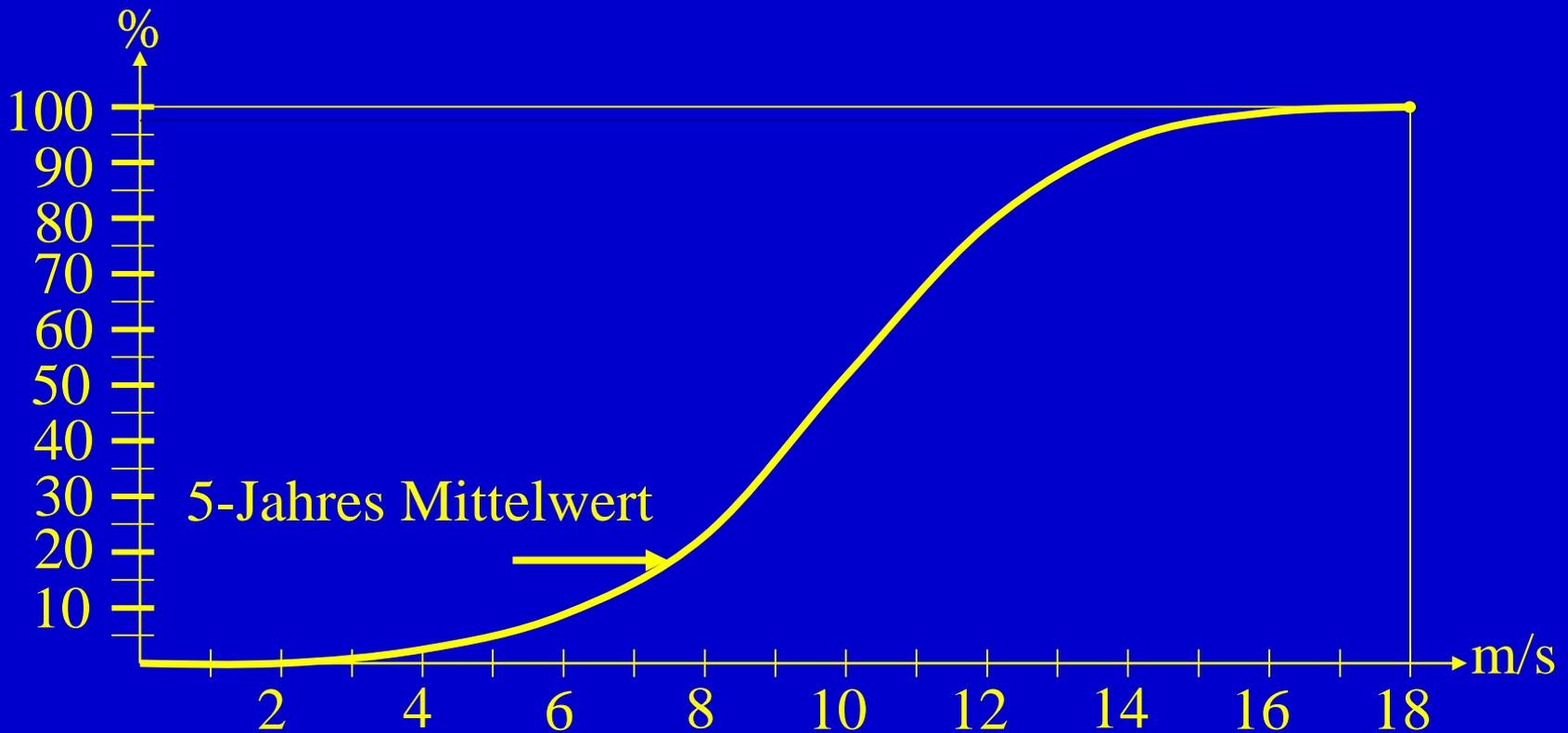
Im Mittel 2011-2015: 18,9 %

\*in % der Nennleistung



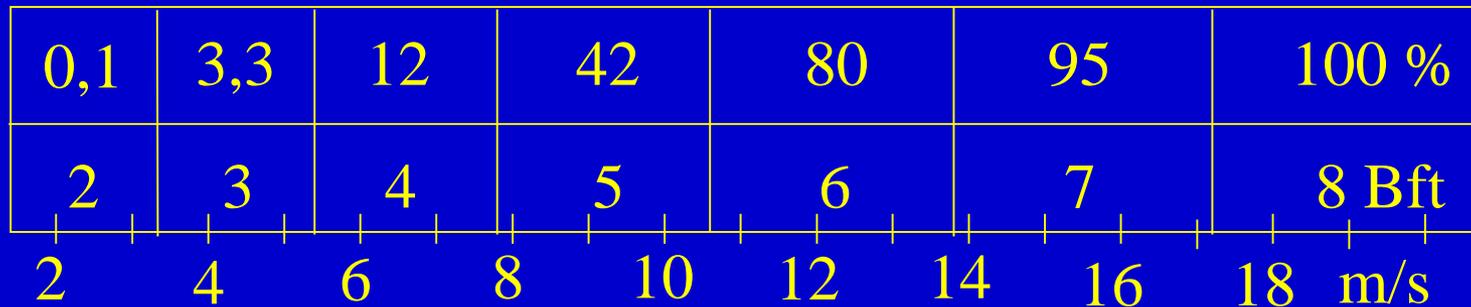
# Windenergie

## Leistungskurve Windturbine



# Windenergie

## Leistungskurve Windturbine



5-Jahres Mittelwert 18,9 %

Überschussenergie: Windstärken 5 bis 9 Bft



# Windenergie

Endenergieaufwand für 1,5 MW WT (30 Jahre Nutzung)

Ressource	Menge	Spez. Energie	GWh
Stahl	250.000 kg	4,50 kWh/kg	1,125
Zement	100.000 kg	0,65 kWh/kg	0,065
Kunststoff	30.000 kg	12,90 kWh/kg	0,388
Fertigung	1,25 Mio €	3,90 kWh/€	4,851
Aufstellung etc.	0,75 Mio €	1,55 kWh/€	1,164
Betrieb 30 Jahre	6,75 Mio €	1,55 kWh/€	10,476





# Windenergie

## 1,5 MW Windturbine küstennah

Energie theoretisch $1,5 \text{ MW} \cdot 8760 \text{ h}$	13.140 MWh/a
Ausbeute küstennaher Standort 20 %	2.628 MWh/a
Energieaufwand*	- 602 MWh/a
<hr/>	
Netto (Wirkungsgrad ca. 15 %)	2.026 MWh/a
Rückgewinnung der Energie	ca. 40 Monate
Erforderlich für Nennleistung	ca. 7 WT

\*Lebensdauer 30 Jahre



# Windenergie

Häufigkeit von Starkwinden Oktober bis März  
> 10 m/s ( $\geq 6$  Bft) 270-360 °, ein-Stunden-Mittel

Deutsche Bucht	500 h (=11,4%)
Küstennähe S-H Seeseite	350 h (= 8%)
Küstennähe S-H Landseite	200 h (=4,6%)

Prognose des Deutschen Wetterdienstes HH

Abnahme der Häufigkeit der Starkwinde bis 2050  
um 20-30 %

# Windenergie

## Mittlere Windgeschwindigkeit Winter 1989-2008

Deutsche Bucht	9 m/sec
Wattenmeer	8,5 m/sec
Küstennähe S-H Seeseite	8 m/sec
Küstennähe S-H Landseite	6,5 m/sec
S-H Geest	5-6 m/sec
Niedersachsen südl. HH	3-5 m/sec

# Windenergie

## Standorteinfluss Windturbinen

nutzbare Windstärke	7,7 m/s	90 %	80 %	70 %	60 %
Ausbeute*	16,2 %	11,3 %	7,1 %	3,7 %	1,1 %
Anzahl WT für Nenn	6	9	14	27	91
Energie in Monaten	42	60	96	180	600

\*mit Berücksichtigung Energie für Betrieb/Wartung  
ohne Herstellung



# Windenergie

## Windturbinen

### Weiterer Ausbau

#### Vier Effekte:

1. Nicht genügend windreiche Standorte
2. Entnahme Energie der WT aus Windenergie
3. Wake Effekt: gegenseitige Abschattung in Windparks
4. Abnahme der Starkwinde bis 2050

# Windenergie

Bedarf elektrische Leistung in Deutschland

Bedarf max. 80 GW

Kapazität erneuerbarer  
Energiewandler

> 80 GW

Überschussenergie

Lieferung ins Ausland  
Abschalten der Wandler  
immer öfter Abschalten

weiterer Ausbau Wandler

oder Speichern



# Windenergie

## Elektrischer Speicher

### Beispiel Pilotanlage Schwerin

Kapazität	5 MWh
Leistung	5 MW
Kosten	6 Mio €
Spezifische Kosten	1,2 Mio €/MWh



# Windenergie

## Elektrischer Speicher

Verbrauch elektrischer Energie	600 TWh/a
Ø pro Tag	1,6 TWh
in 10 Tagen	16,0 TWh
spezifische Kosten	1,2 Mio€/MWh
Gesamtkosten 16 TWh Speicher	> 20 Bio €

unbezahlbar



# Windenergie

## Pumpspeicherwerk

Kapazität für 10 Tage

Wirkungsgrad 75 %

## Bodensee als Oberbecken

Staumauer 250 km lang, 400 m hoch

Unterbecken 2 x Saarland

Tiefe 40 m

**Nicht realisierbar**

# Windenergie

## Power to gas

### Beispiel: H<sub>2</sub> -Anlage in Mainz

Dauerleistung	3,9 MW
Spitzenleistung	6,0 MW
Spezifische Kosten	17 Mio €/6 MW
Speicherkapazität	33 MWh
Wirkungsgrad	ca. 50 %

erfordert Verdopplung der Anzahl Wandler



# Windenergie

## Power to gas

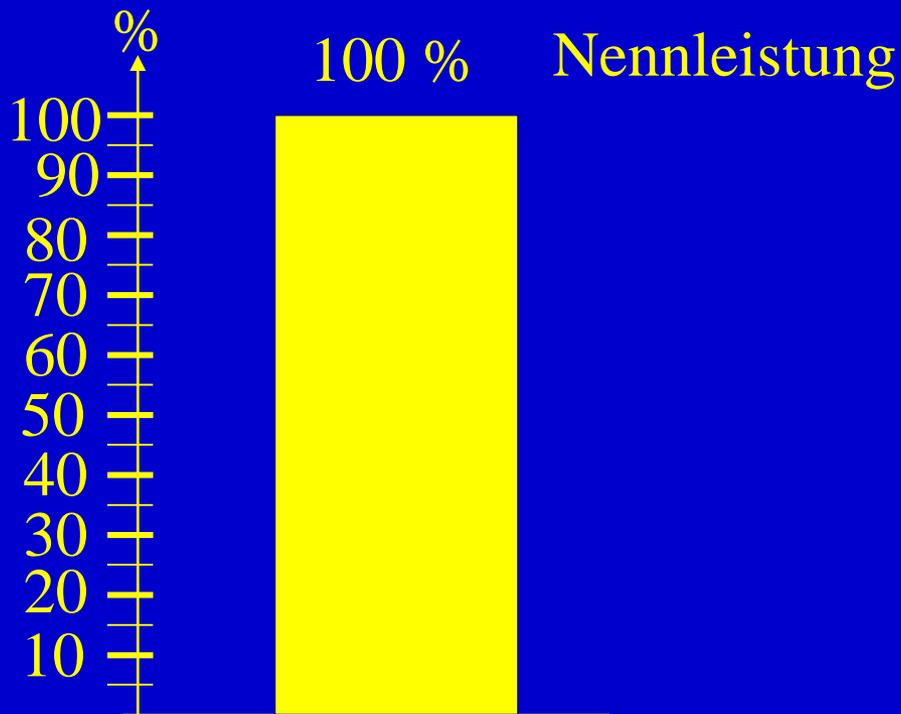
Spitzenleistung  
(= erforderliche Nennleistung) ca. 1.000 GW

Spez. Kosten 17 Mio€/6 MW

Gesamtkosten power to gas Speicher ca. 2,8 Bio €

# Windenergie

## Wirkungsgrad Windturbinen



# Windenergie

## Wirkungsgrad Windturbinen



# Windenergie

## Wirkungsgrad Windturbinen



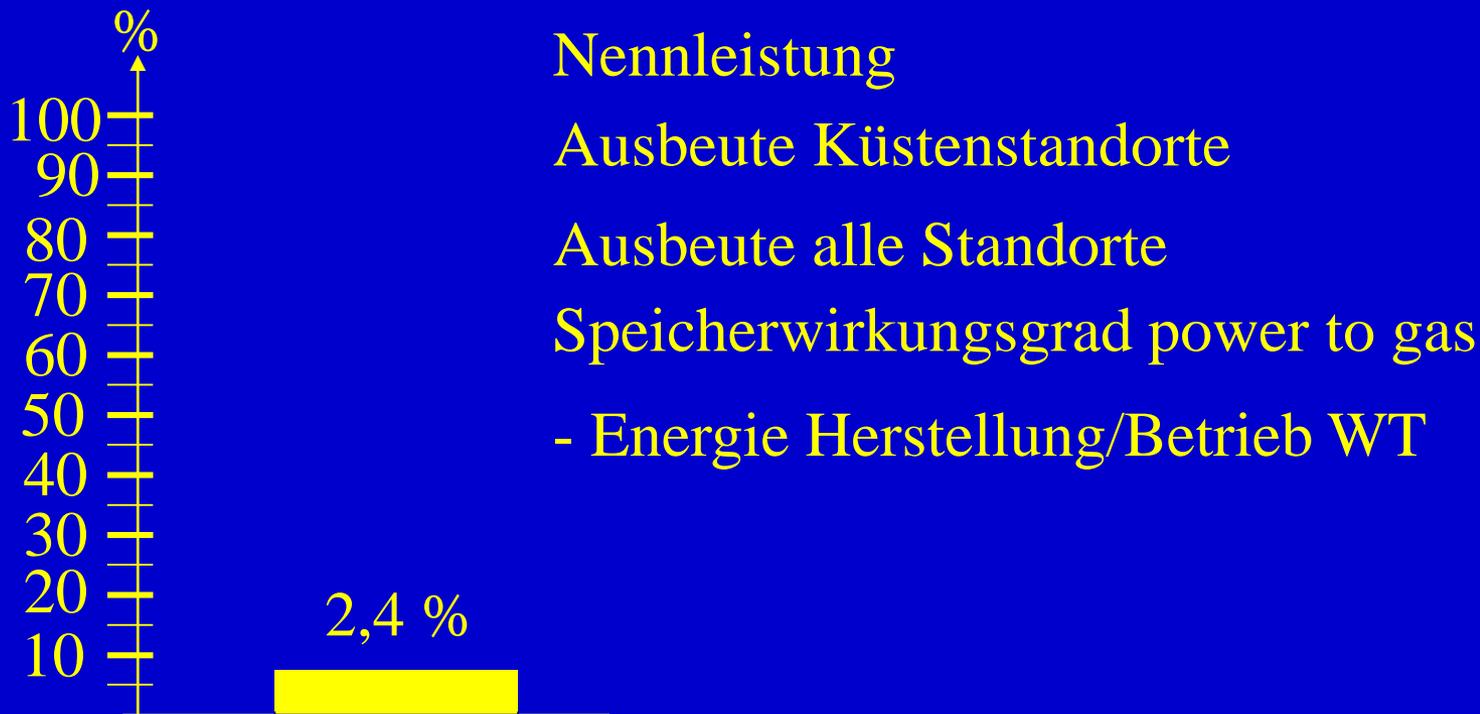
# Windenergie

## Wirkungsgrad Windturbinen



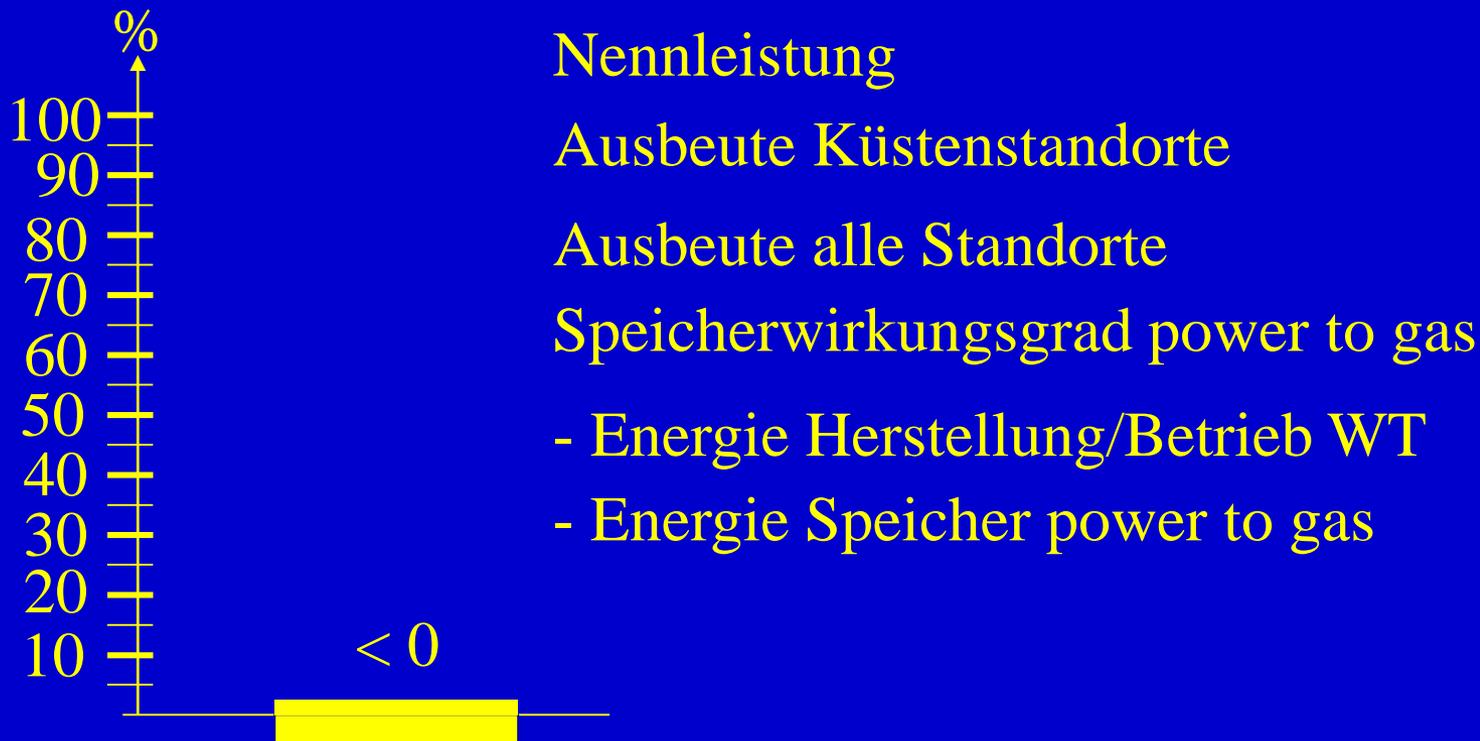
# Windenergie

## Wirkungsgrad Windturbinen



# Windenergie

## Wirkungsgrad Windturbinen



# Windenergie

## Funktionalität des EEG

1. Hersteller von WT
2. Land- und Geldbesitzer
3. Landesregierungen
4. Bürger
5. Klima

Summe der Einzelinteressen  $\neq$  Gesamtinteresse



# Windenergie

## Lösungsvorschläge

1. Politik
2. Ausbaustop und Entwicklung
3. Energiesparen