



Erneuerbare in Deutschland – eine Erfolgsgeschichte?



Hermann-Josef Wagner

Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft
Ruhr-Universität Bochum

wagner@lee.rub.de
www.lee.rub.de

IEWT2021, 10.09.2021, TU Wien

- **Historische Entwicklung**
- **Windenergie**
- **Photovoltaik und thermische Solaranlagen**
- **War es ein Erfolg?**

Gliederung

- **Historische Entwicklung**
- Windenergie
- Photovoltaik und thermische Solaranlagen
- War es ein Erfolg?

Gliederung

Nutzungssysteme	Endenergie- bereitstellung	Endenergie- substitution Mio t SKE/a	Entlastung der Primär- energiebilanz Mio t SKE/a
1. Biokonversion	10 Mio t SKE Abfall und Rückstandsbiomasse	5,0 ²⁾	10,0 ²⁾
2. Wasserkraftwerke - große Anlagen (MW-Bereich) - kleine Anlagen (kW-Bereich) Meereskraftwerke	23 TWh Strom	2,8	7,9
	10 TWh Strom und mech. Energie	1,2 - 1)	3,7 -
3. Windkonverter - große Anlagen (MW-Bereich) - kleine Anlagen (kW-Bereich)	11 TWh Strom	1,3	4,1
	1,25 TWh Strom	0,2	0,5
4. Sonnenenergie- anlagen			
	Niedertemperatur- kollektoren	1,6 Mio t SKE Wärme	2,9 ersetzt Gas/Heizöl - 1)
	Solarthermische Kraftwerke		-
	Photovoltaische Stromerzeugungs- anlagen		- 1)

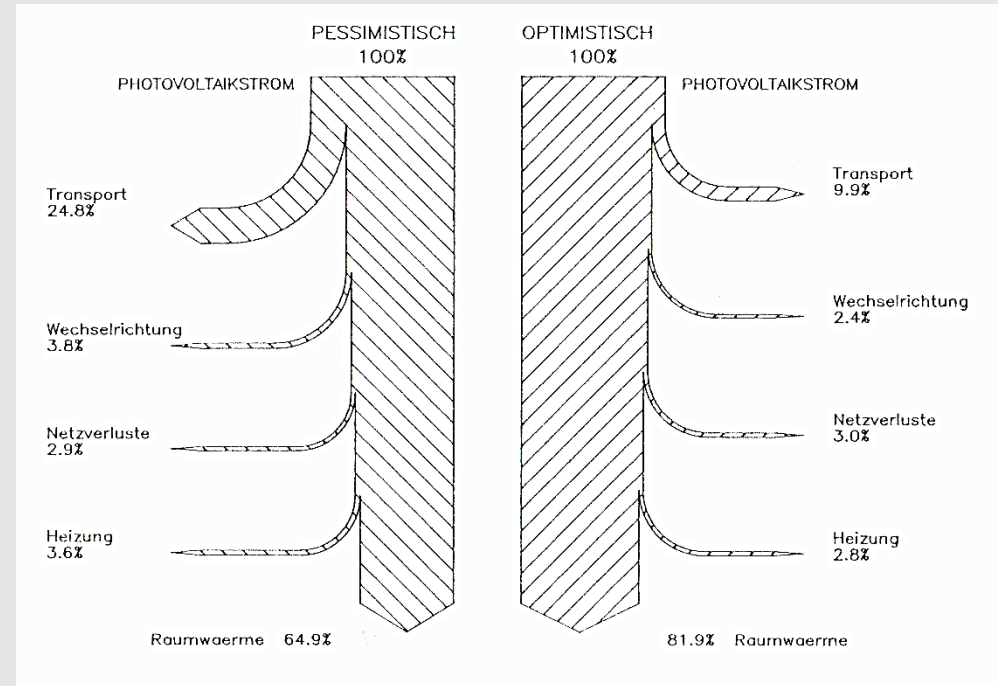
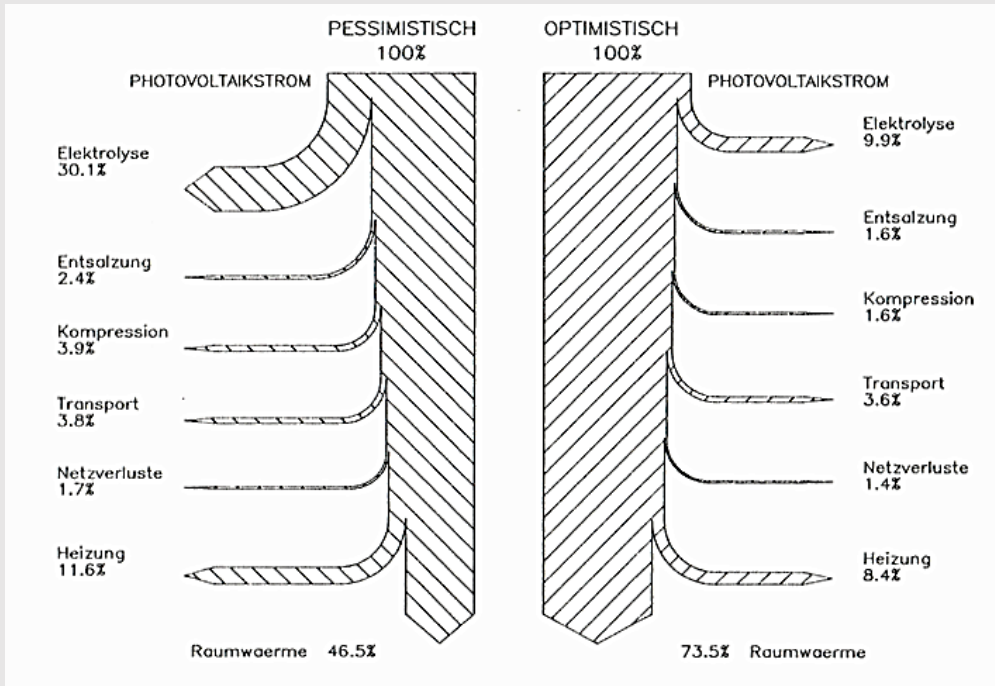
5. Wärmepumpenanlagen	elektrisch ange- trieben	3,0 Mio t SKE Wärme (Umwelt) 2,0 Mio t SKE Wärme (Antrieb)	ersetzt 7,1 Gas/Heizöl	bei Berück- sichtigung der Primärenergie zum Antrieb 1,9
	fossil befeuert	1,2 Mio t SKE Wärme (Umwelt) 3,0 Mio t SKE Wärme (Antrieb)	Gas/Heizöl- einsparung 3,0	3,3
6. Geothermische Heiz- u. Kraftw.			- 1)	-
Summe		-	-	34,6

1) kein nennenswerter Beitrag bis zum Jahr 2000 zu erwarten
2) Nicht detaillierter Beitrag vieler verschiedener Umwandlungsverfahren zur Bereitstellung von Wärme, sowie festen und flüssigen Sekundärenergieträgern aus Biomasse mit einem Heizwert an organischer Trockensubstanz in Höhe von 10 Mio t SKE/a. Angenommener Umwandlungswirkungsgrad 50 %.

Quelle: Jül-Spez-156 Juni 1982, 1985 aktualisiert

Wasserstoff (Sahara) - Raumwärme

Strom (Sahara) – Stromnetz - Raumwärme



Quelle: STE-Bericht erstellt für BMBF im Jahre 1987

Energie aus der Sahara – Thema seit 1987

Laufwasser- und Speicherkraftwerke

ohne Pumpspeicherkraftwerke und ohne natürlichem Zufluss bei Pumpspeicherkraftwerken

	Anlagenzahl	Leistung in MW
≤ 100 kW	5.400	170
100 kW – 1 MW	1500	500
≥ 1 MW – 10 MW	340	1140
> 10 MW – 50 MW	80	1730
> 50 MW	8	600
Insgesamt	~ 7300	~ 4100

Quelle: H.-J. Wagner, letzte verfügbare Werte: 2013

Wasserkraftanlagen in Deutschland

- Historische Entwicklung
- **Windenergie**
- Photovoltaik und thermische Solaranlagen
- War es ein Erfolg?

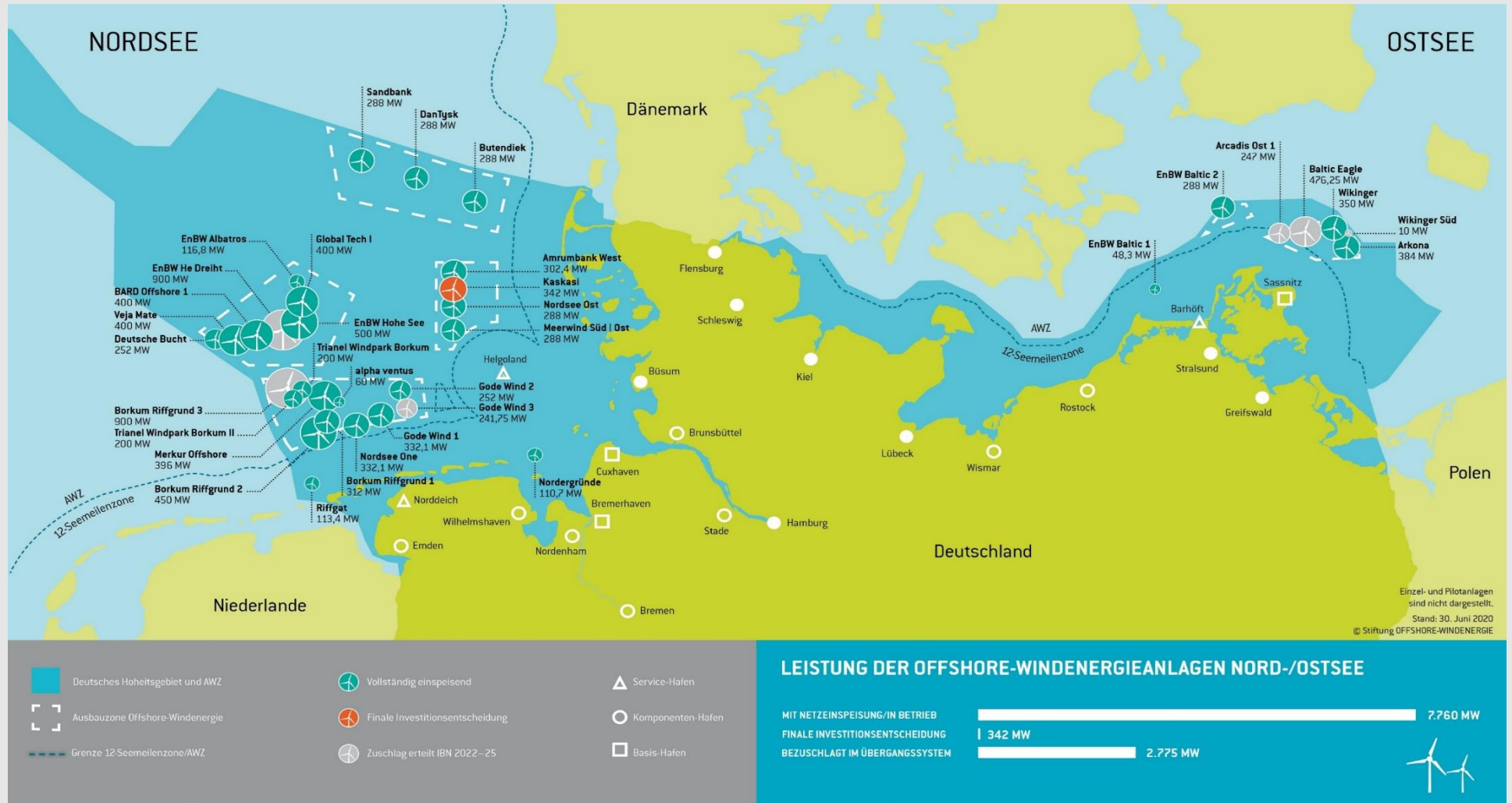
Gliederung



Quelle: Eilert Voß, Archiv Wattenrat

Enercon 16 – Dezember 1987 (Norddeich), 55 kW Leistung

Anfang der Windenergie – Deutschland im Jahre 1987



Quelle: www.offshore-stiftung.de

Offshore-Windenergieanlagen an der Nord- und Ostsee - Stand 2020



Quelle: RUB

Neue Technik, neue Probleme: Getriebeschaden



Beschädigte Gondel „alpha ventus“ (April 2018)



Neue Gondel alpha ventus

Quelle: links: https://www.nwzonline.de/seite1/oldenburg-borkum-alpha-ventus-defekte-windpark-gondel-wird-getauscht_a_50,1,2528201113.html
rechts: <https://energiewinde.orsted.de/koepfe-der-energiewende/zehn-jahre-offshore-wind-deutschland-irina-lucke-interview>

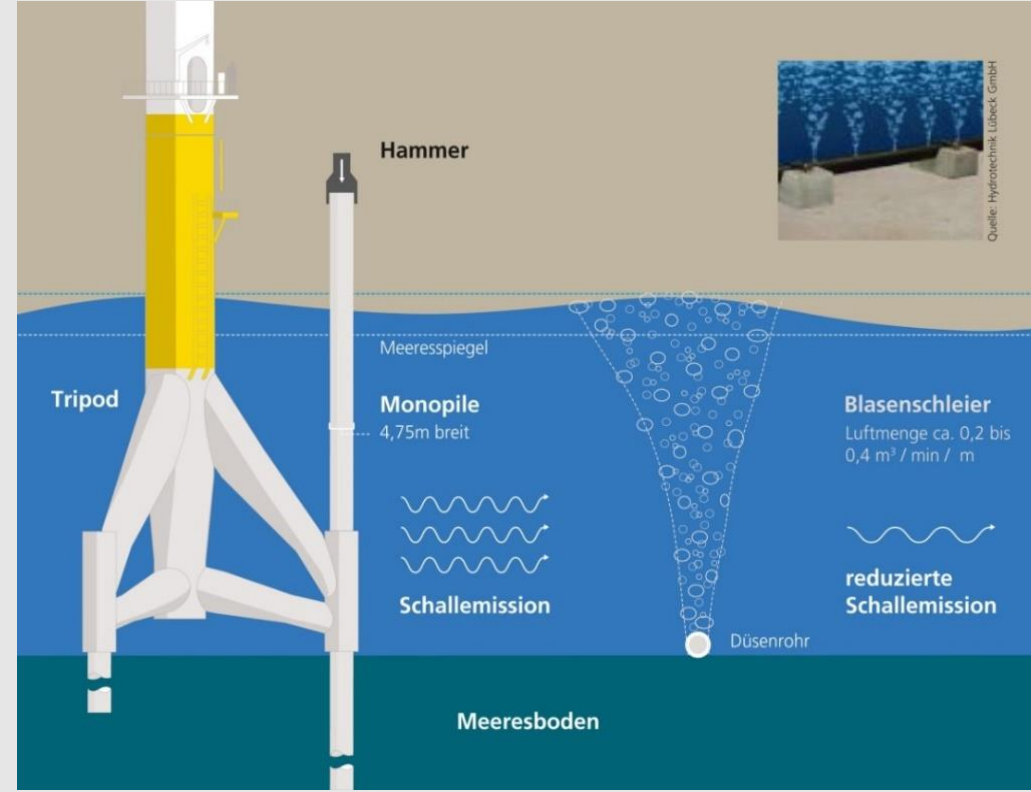
alpha ventus – Auswechseln der Gondel

Windpark „Trianel II“ bei
Borkum – mit finanzieller
Beteiligung der
Stadtwerke Bochum



Quelle der Grafik: Trianel
Borkum
<http://www.trianel-borkum.de/bilder/errichtung-wea/>

Transport der Rotorblätter durch „Errichterschiffe“



Quellen: links: Trianel; rechts: NVB, Nordhäuser Versorgungsbetriebe, entnommen aus: VDI Ingenieurforum, Ausgabe 2/2012

Blasenschleier als Unterwasser-Schallschutz beim Rammschlag

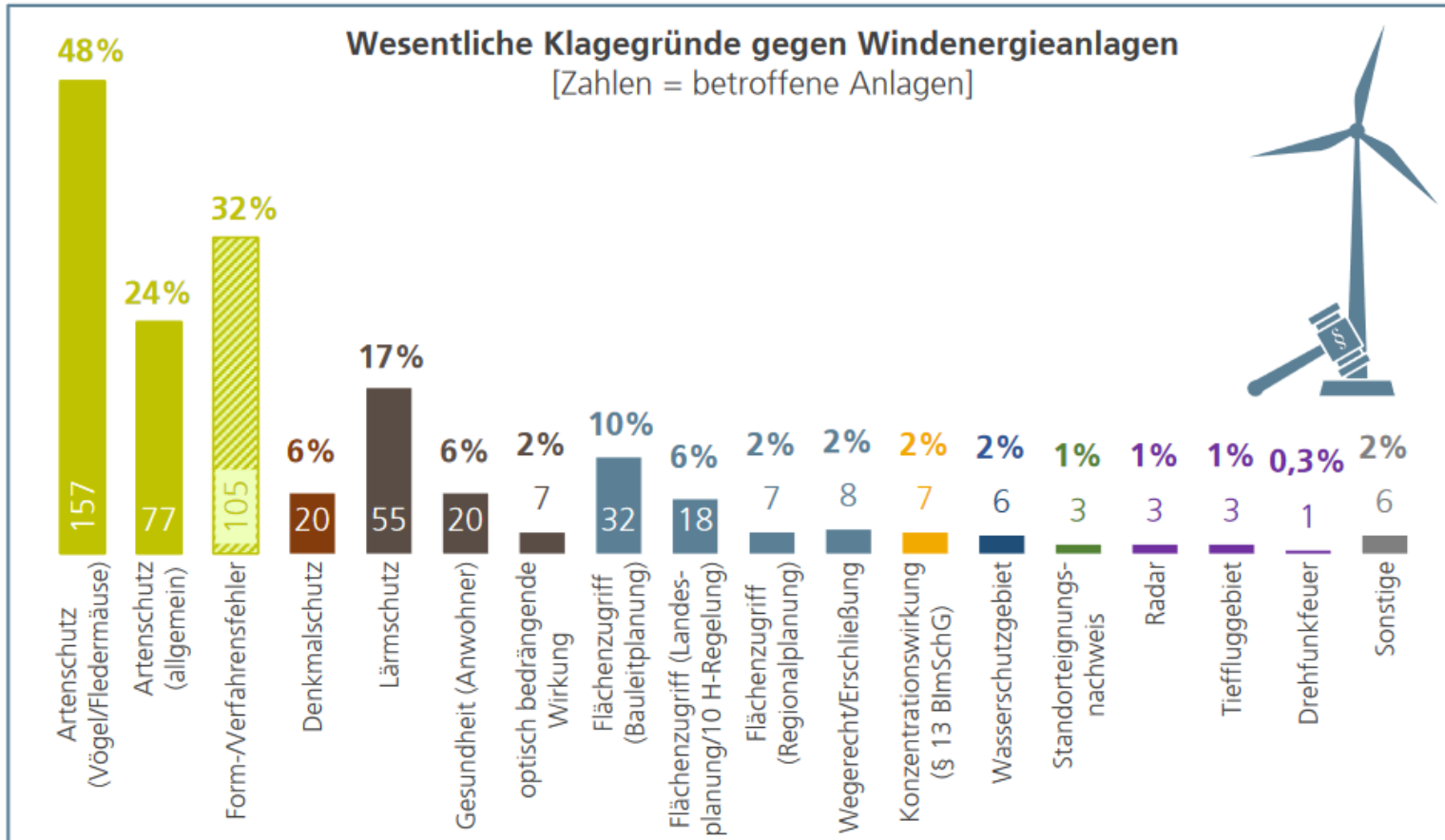
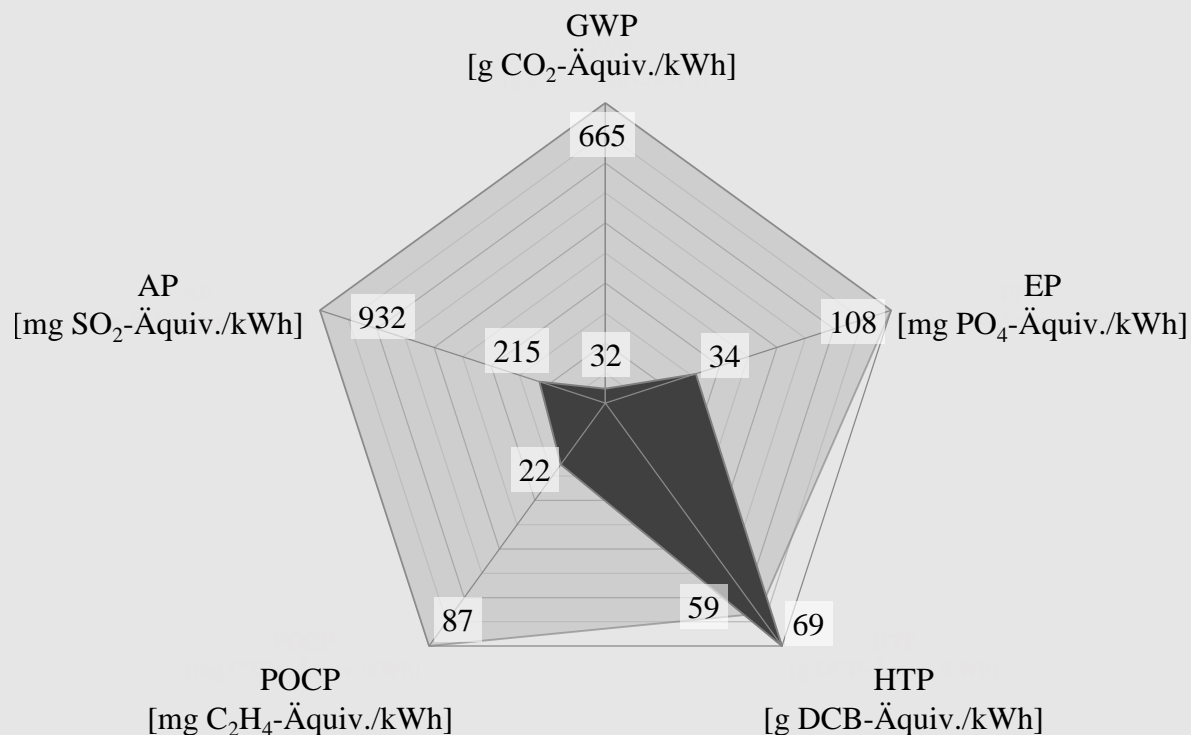


Abbildung 1: Klagegründe und Zahl der betroffenen WEA mit Mehrfachnennungen [n = 325 WEA]; Daten und Grafik: FA Wind (Stand Q2/2019)

Quelle: Fachagentur Windenergie an Land, Umfrage, „Hemmnisse beim Ausbau der Windenergie in Deutschland, Juli 2019

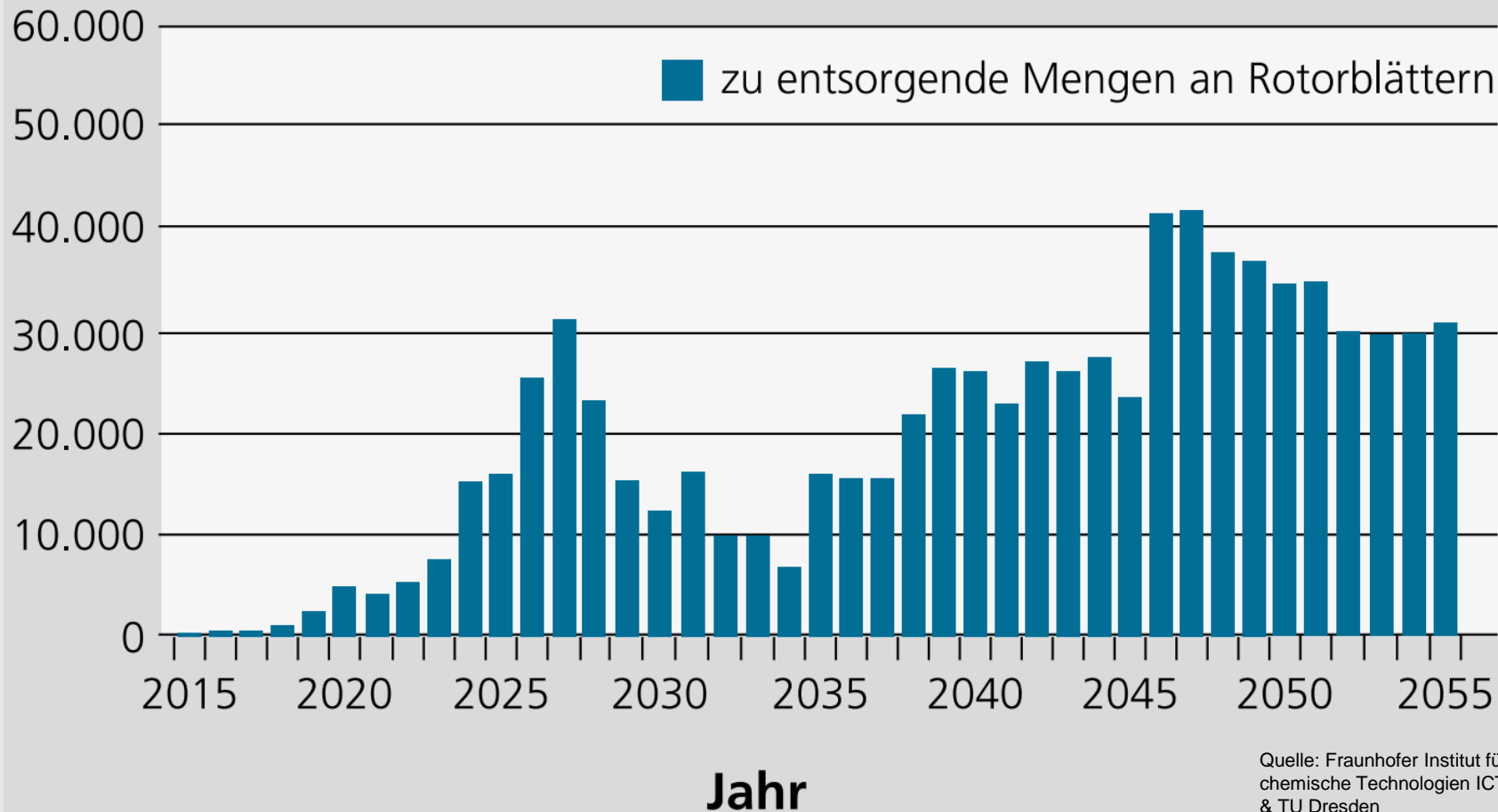
Klagegründe gegen Windenergieanlagen



□ deutscher Strommix ab Hochspannungsleitung ■ alpha ventus

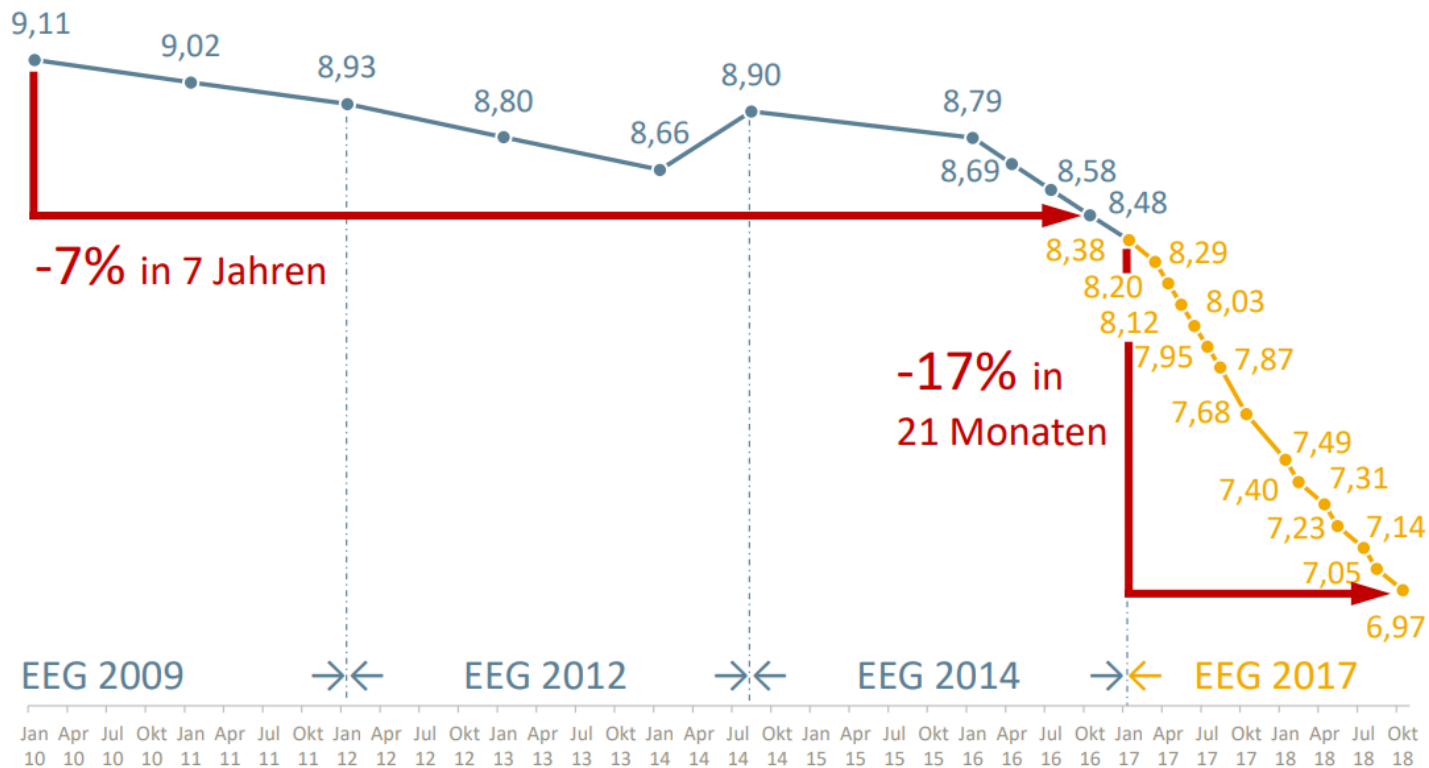
Einordnung der Ergebnisse
 Vergleich mit deutschem Strommix (bei gleichmäßiger Bewertung)

Rotorblattmenge



Zahl der abgebauten Rotorblätter pro Jahr (Schätzung)

Vergütungssätze für Strom aus Wind an Land [Anfangsvergütung in Cent/kWh]



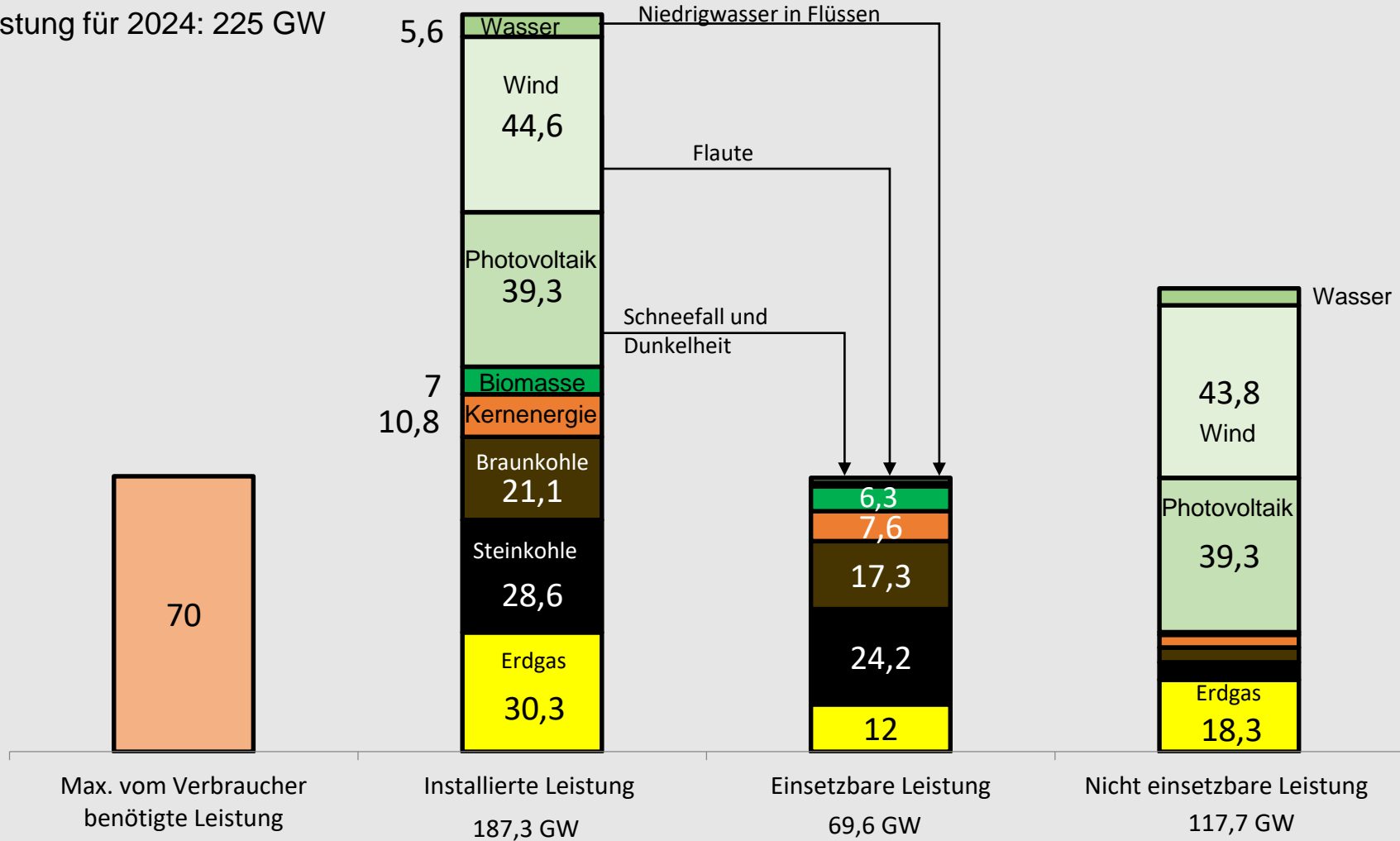
Quelle Grafik:
 Fachagentur
 Windenergie an Land –
 Loccum Finanztage
 (online) Mai 2020

Vergütungssätze für Strom aus Onshore-Windenergieanlagen

- Historische Entwicklung
- Windenergie
- **Photovoltaik und thermische Solaranlagen**
- War es ein Erfolg?

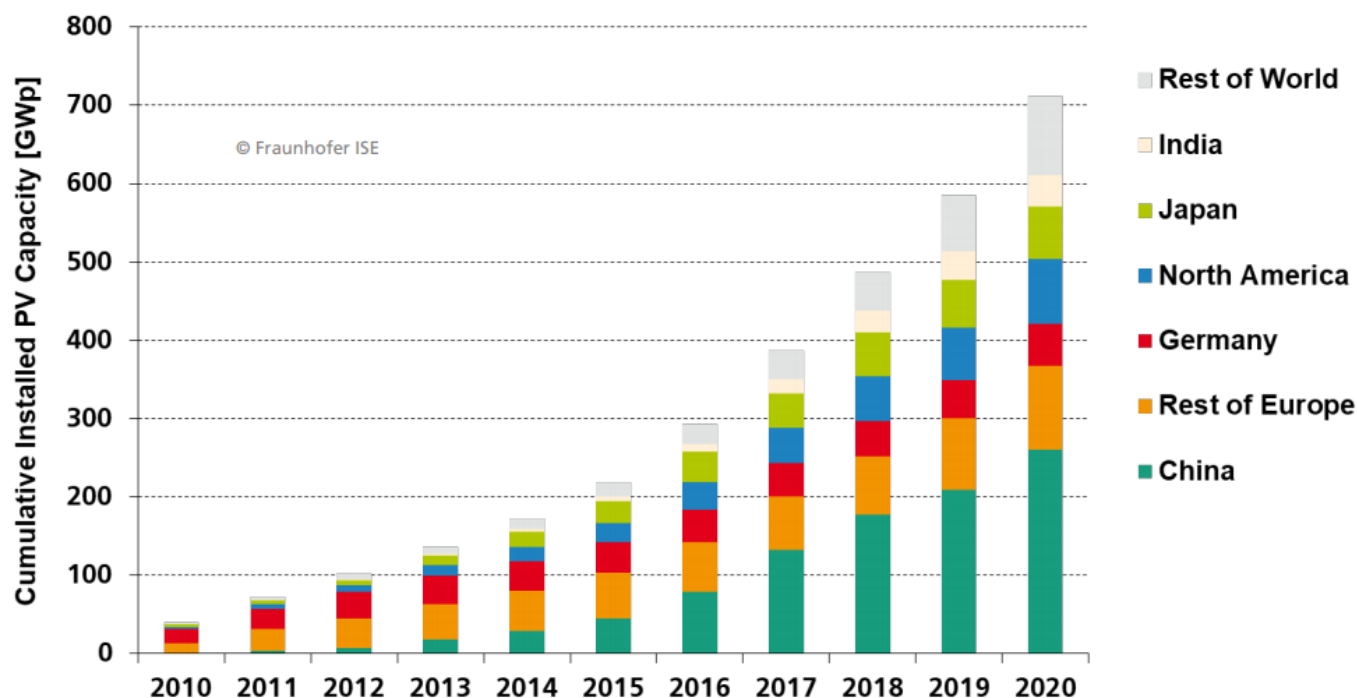
Gliederung

Ausbauziel für die installierte Leistung für 2024: 225 GW



Leistungsbilanz der deutschen Stromerzeugung am 24.01.2017 in GW

Global Cumulative PV Installation From 2010 to 2020



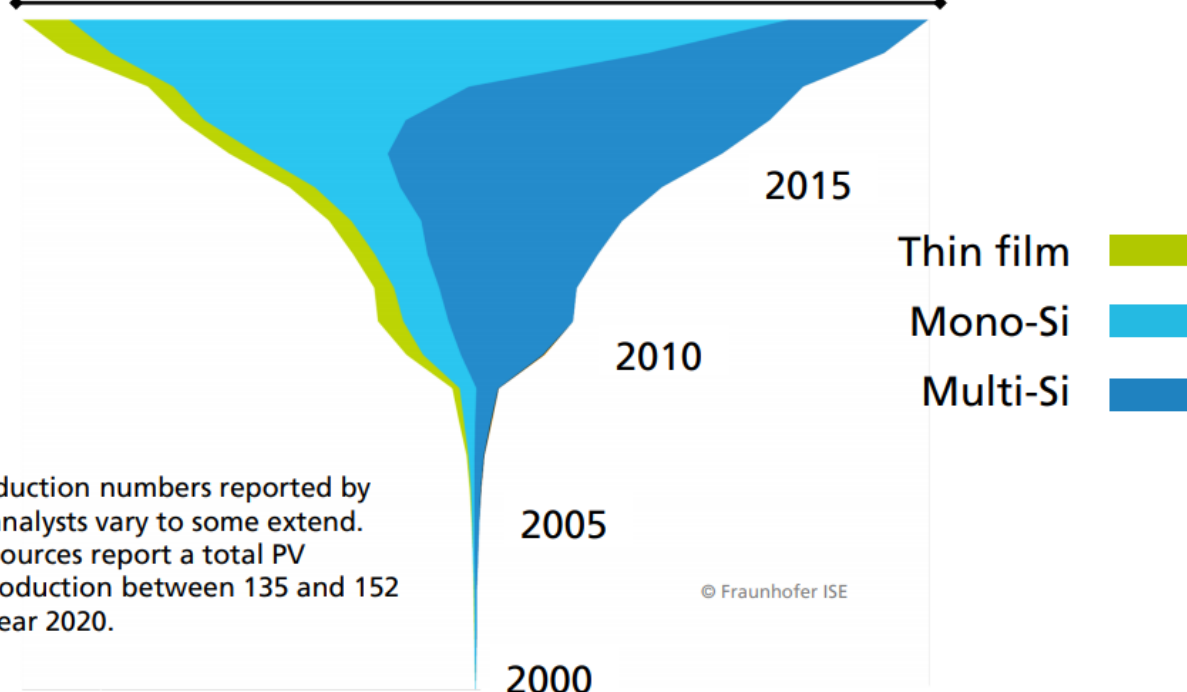
Data: IRENA 2021. Graph: PSE Projects GmbH 2021

Quelle der Grafik: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

Weltweite Photovoltaik-Produktion (kumulativ)

Annual PV Production by Technology Worldwide (in GWp)

← About 150* GWp PV module production in 2020 →



*2020 production numbers reported by different analysts vary to some extent. Different sources report a total PV module production between 135 and 152 GWp for year 2020.

© Fraunhofer ISE

Data: from 2000 to 2009: Navigant; from 2010: IHS Markit. Graph: PSE Projects GmbH 2021

Quelle der Grafik: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

Jährliche Produktion von Photovoltaikanlagen kategorisiert nach ihrer Technologie

PERC

- *Passivated Emitter and Rear Cells* (PERC) bestehen aus kristallinem Silizium
- spezielle Schicht an der Rückseite reflektiert vor allem rotes Licht; dieses Licht kann in einem zweiten Durchlauf Strom erzeugen
- höherer Wirkungsgrad

SHJ

- *Silicium-Heterojunction* (SHJ)
- monokristalliner Siliziumwafer umhüllt von ultradünnen Schichten aus ungeordneten Silizium-Atomen
- Schichten hemmen an Oberflächen des Wafers die Wiedervereinigung von negativen und positiven Ladungsträgern
- elektrische Kontakte auf Vor- & Rückseite

IBC-SHJ

- *Silicium-Heterojunction* (SHJ)
- alle elektrischen Leiterbahnen befinden sich auf der Rückseite, dadurch wird die Vorderseite weniger verschattet und die gesamte Fläche kann zur Aufnahme des Sonnenlichtes genutzt werden

Silizium-Perowskit-Tandemzelle

- Perowskit-Materialien empfangen vor allem blaues und grünes Licht (Silizium: eher Licht im roten und infraroten Bereich)
- Tandem aus Silizium- und Perowskit-Zellen nutzen in Kombination das gesamte Spektrum an Sonnenlicht
- höherer Wirkungsgrad (derzeit: 29,5%)



Kumulierte installierte Leistung der Photovoltaikanlagen in Deutschland:*

- 2007: **4.170 MW**
- 2013: **36.700 MW**
- 2019: **49.050 MW**
- 2020: **53.800 MW**

PV weltweit 2020: ~ 700 GW_p

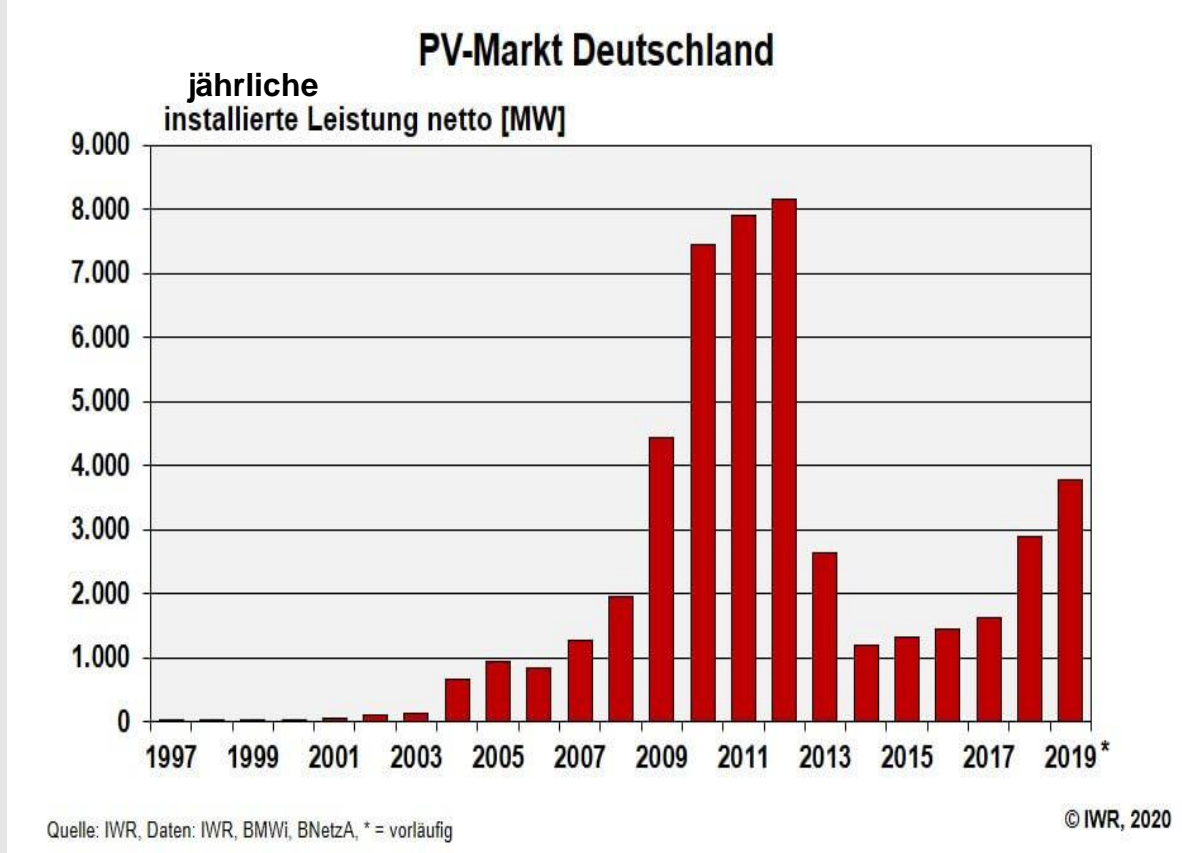
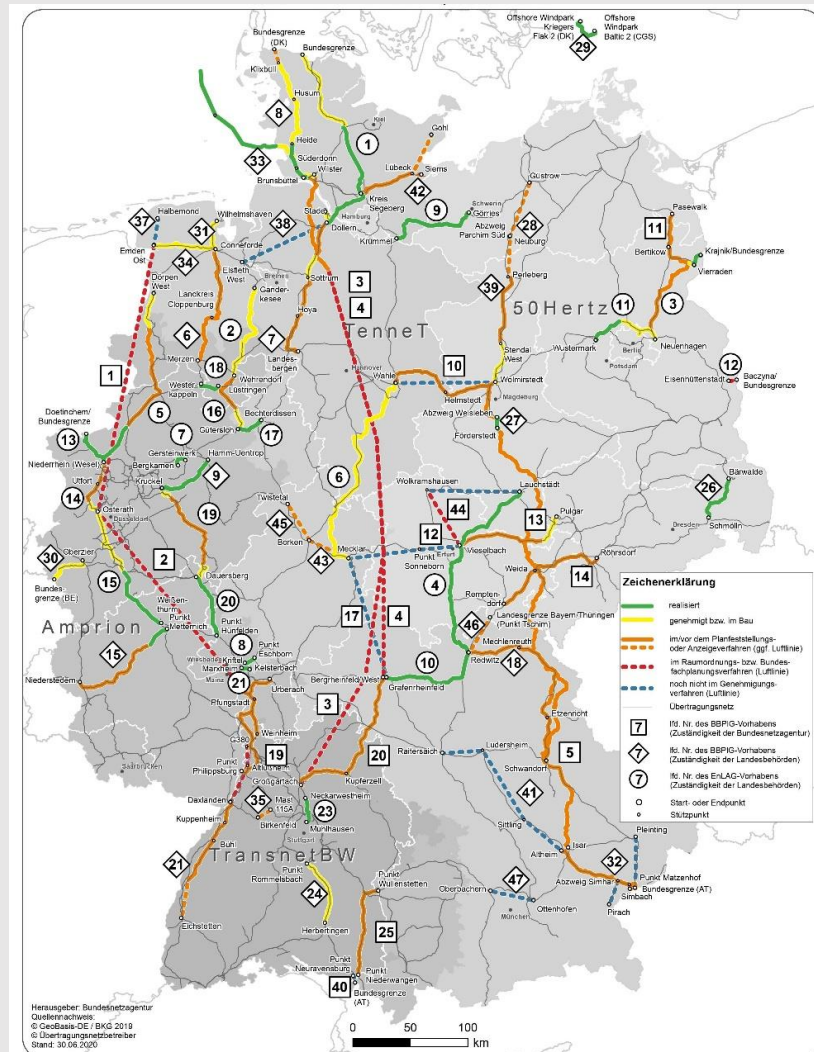


Diagramm: solarbranche.de/ausbau/deutschland/photovoltaik

*Quelle: BP Statistik 2021

Photovoltaik in Deutschland



Stromnetzentwicklungsplan für Deutschland (BBPIG & EnLAG 2020)



Quelle: H.-J. Wagner

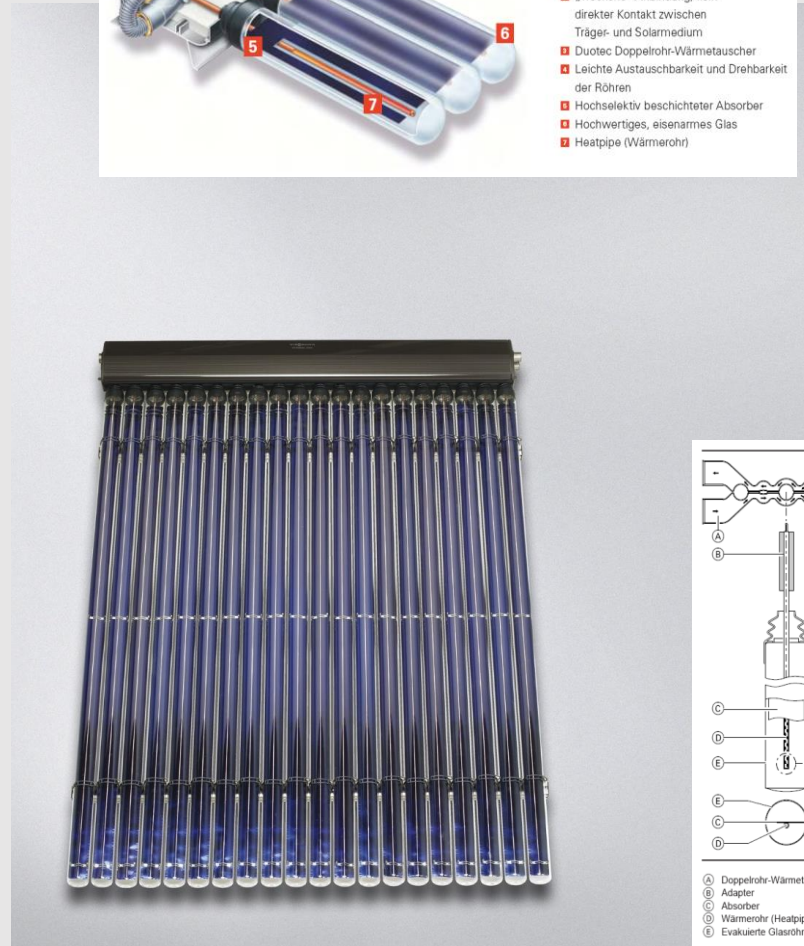
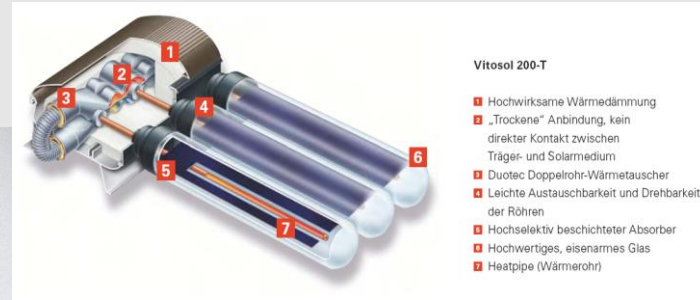
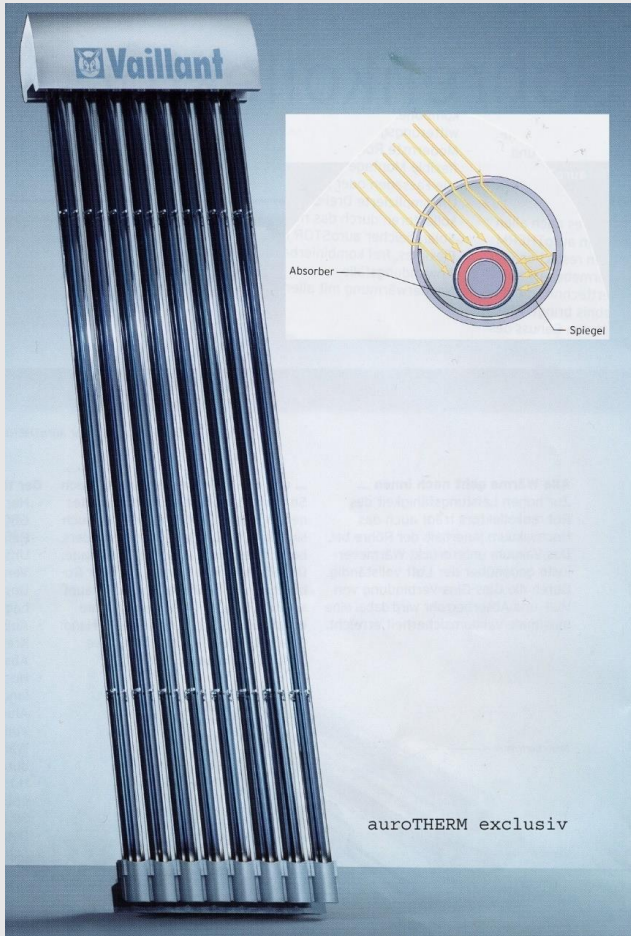
Erforderlich: Ausbau der Stromleitungen



- 1 MW thermische Leistung
- Erbaut Mitte der 90er Jahre
- Heute Versuchsanlage des DLR

Quelle: H.-J. Wagner

Solarturmanlage in Jülich



Röhren-Kollektor und Vakuum-Röhrenkollektor nach dem Heatpipe-Prinzip

- Historische Entwicklung
- Windenergie
- Photovoltaik und thermische Solaranlagen
- **War es ein Erfolg?**

Gliederung

Technisch: ja – insbesondere bezüglich der Windenergie; Photovoltaik & thermische Solaranlagen bezüglich Wärme und Elektrizität.

Kostenmäßig: bedingt – Photovoltaik-Kosten sind erheblich gesunken; Onshore-Windanlagen sind bisher günstiger als Offshore-Anlagen.

Exportmäßig: ja – bei der Weitergabe technischer Entwicklungen und bei Windanlagen durch Investitionen im Ausland; bei Photovoltaik nicht aufgrund falscher deutscher Politik.

Trotz ca. 40% Anteil regenerativer Energien in Deutschland ist derzeit ein Ausstieg aus fossilen Energieträgern nicht möglich => Problem: Speicher.

Nur ein „reiches“ Land wie Deutschland konnte sich diese Entwicklungen erlauben.

PS: Ich bin dankbar dafür in meinem Berufsleben ein klein wenig daran teilhaben zu können.

War es ein Erfolg?



**Literaturempfehlung: Gerd Stadermann, Das Notwendige möglich machen
(Springer Verlag)**



Vielen Dank fürs Zuhören

Foto: Wagner 2013

Photovoltaikanlage Forschungszentrum Jülich, errichtet 1993