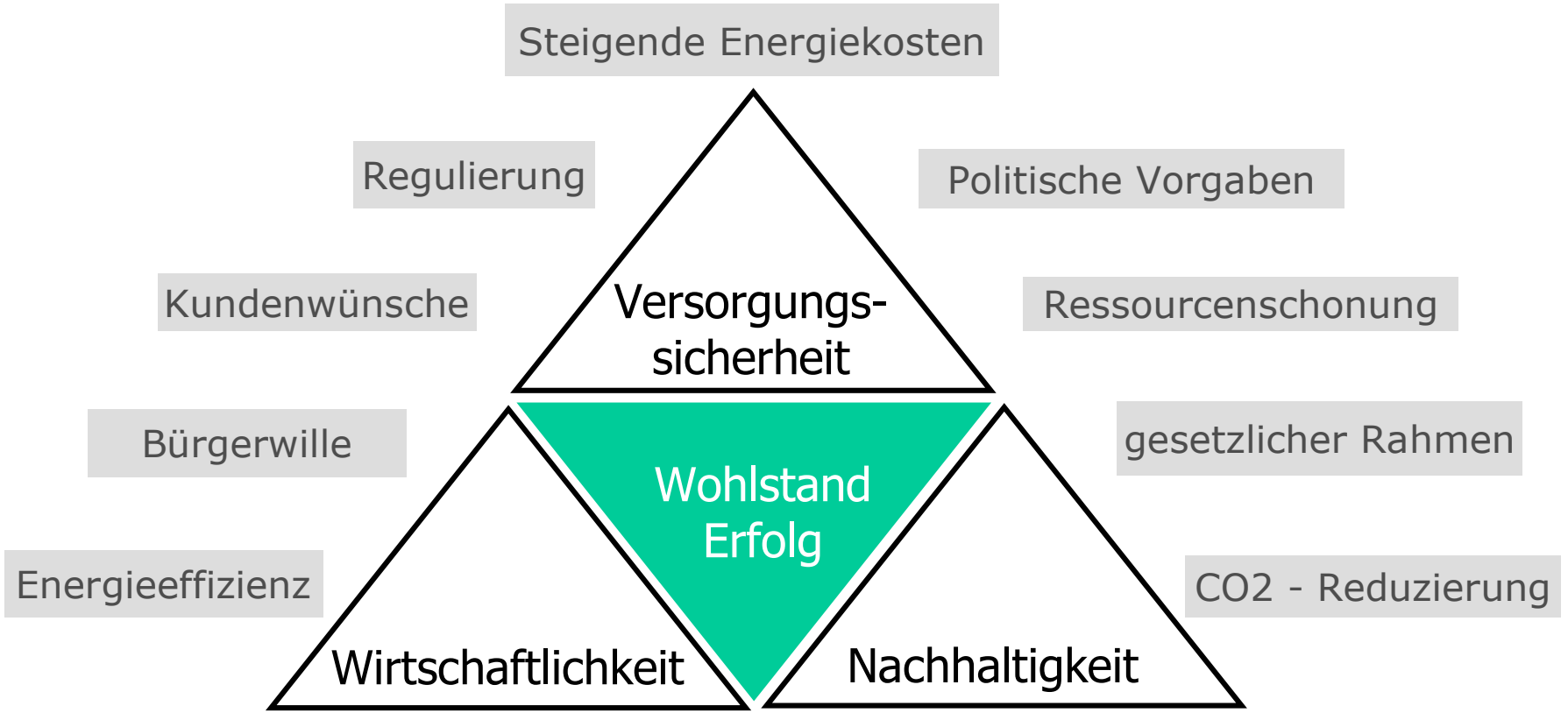
Zieldreieck und Konfliktecken für die Energieversorgung – die drei Säulen einer nachhaltigen Energiepolitik

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Energieversorgung der Welt: Das Ziel ist längst bekannt.

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

Es ist erforderlich, sofort eine massive und weltweite Kampagne zur Energieeinsparung und zum effektiven Einsatz von Energie zu beginnen.

Das Energieproblem ist für die Welt so wichtig, dass die besten Köpfe und umfassende Mittel dafür eingesetzt werden müssen.

Club of Rome, 1991 - Die Globale Revolution

Was wir heute tun, entscheidet darüber, wie Die Welt morgen aussieht.

Marie Freifrau von Ebner-Eschenbach
(1830-1916), östr. Schriftstellerin

Ziele der Politik

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

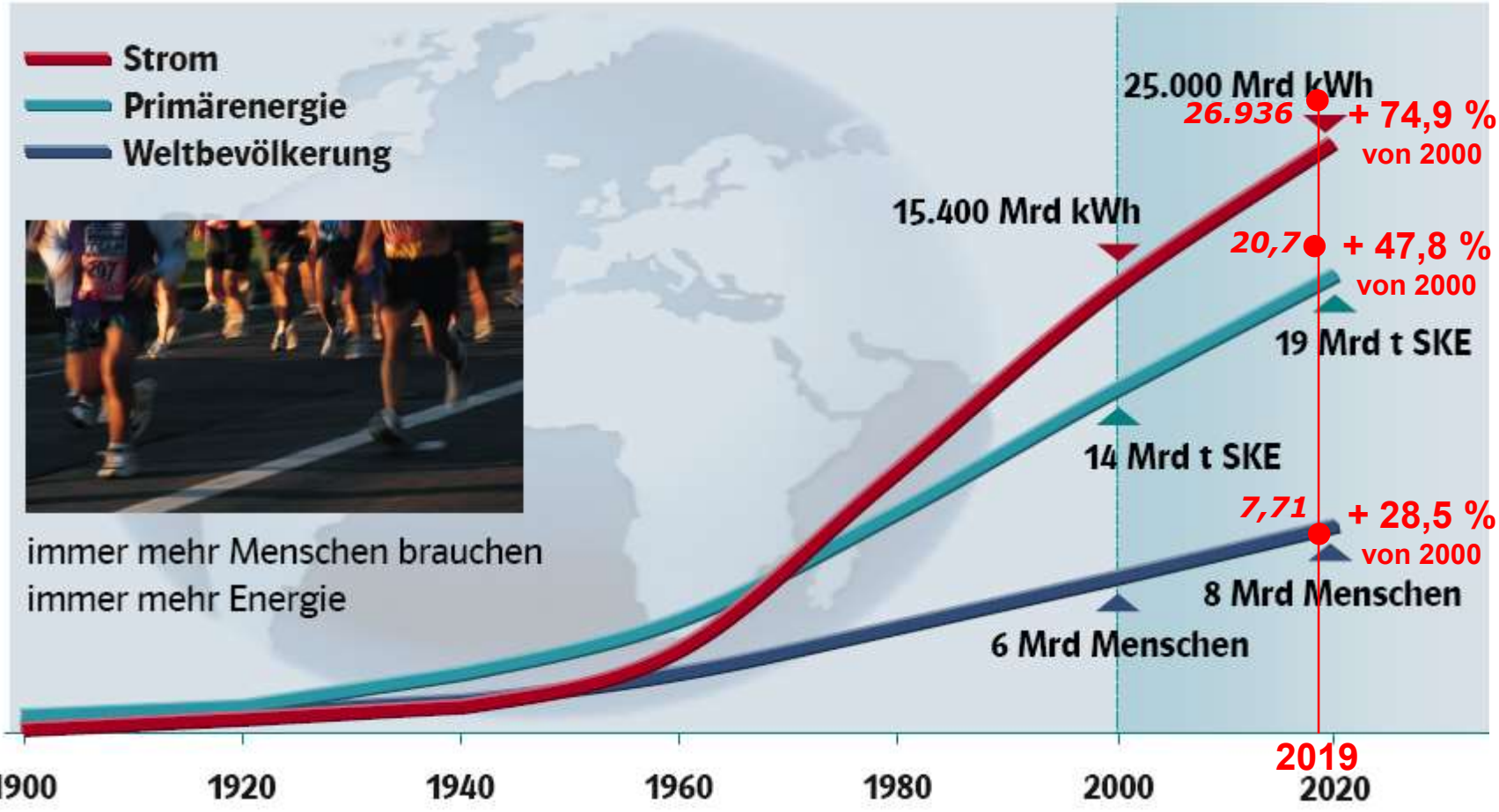
	bis	2030	2035	2050
➔ Reduktion Treibhausgasemissionen auf Basis 1990		- 55 %		Klimaneutral
➔ Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energiequellen auf mindestens		40 %		
➔ Reduzierung der Emissionen von PKW und leichten Nutzfahrzeugen		- 55 %	- 100 %	
➔ Reduzierung des PEV gegenüber 2020 um		- 29,7 %		
➔ Schaffung und Erhalt von natürlichen Senken		310 Mio. t CO_2		

	bis	2020	2030	2040	2045
• Treibhausgasemission auf Basis 1990		- 40 %	- 65 %	- 88 %	klimaneutral

• Steigerung der Energieproduktivität auf 2,1 % p. a. bezogen auf den Endenergieverbrauch

Weltweiter Energiehunger

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Internationale Energie Agentur (IEA)

November 2021

Aussagen zur weltweiten Entwicklung bis 2040 zum Erreichen der Klimaziele

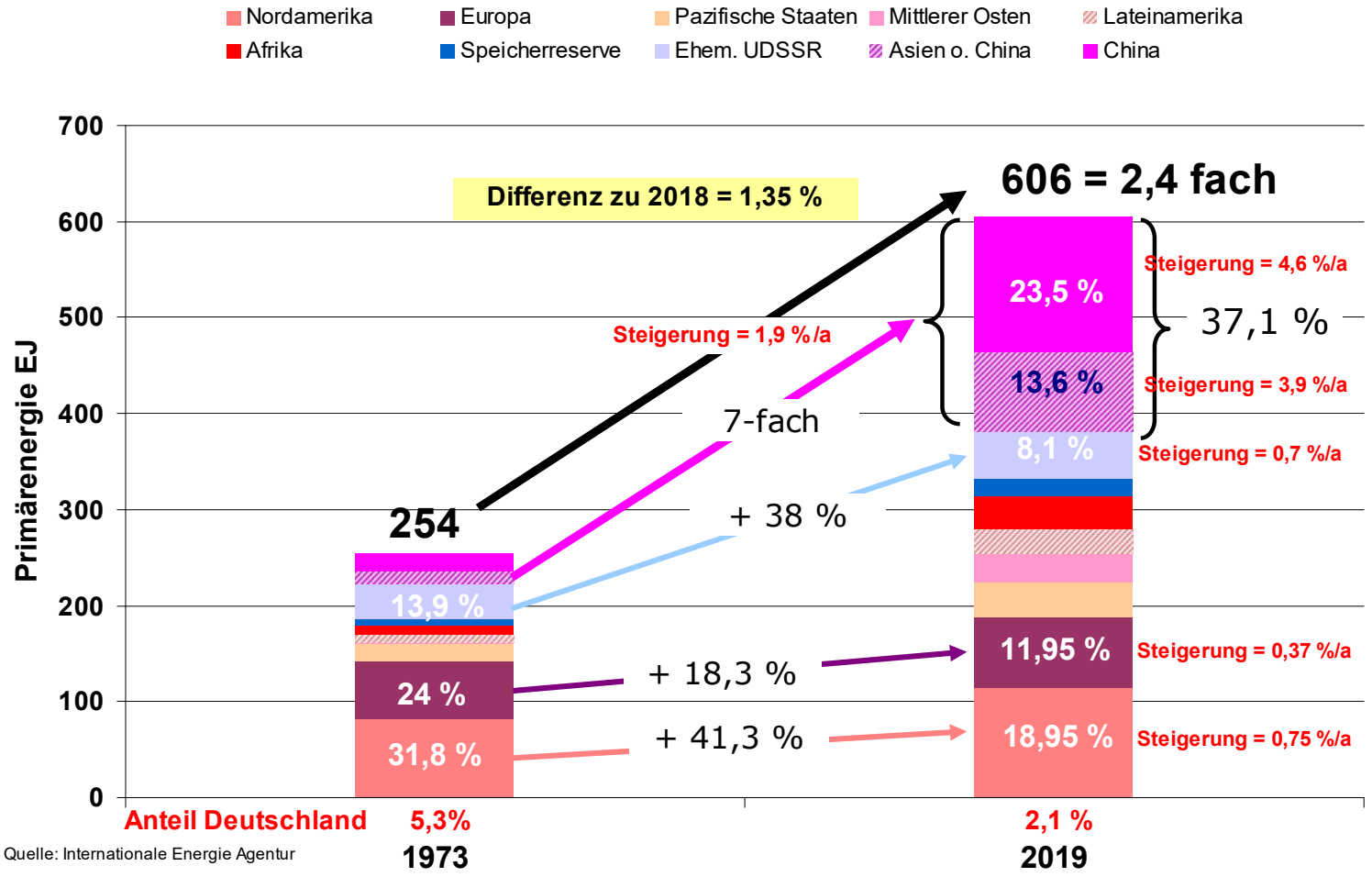
Solarenergieförderverein Bayern e. V.

- **Energiebedarf und Zugang zu Energie:**
  - Trotz des Einsatzes modernster Technologien steigt die globale Energienachfrage aufgrund des Bevölkerungsanstiegs (ca. 1,7 Mrd.) sowie wachsender Einkommen um über 25 %. Der Bedarf stagniert in den OECD-Ländern. Ein rasanter Bedarfsanstieg steigt vor allem durch das industrielle Wachstum in den asiatischen, lateinamerikanischen Ländern, in den Ländern des Nahen Ostens und in Teilen von Afrika.
  - Die Basis für den, im Hinblick auf das Klimaziel 2° C, notwendigen Umbau des weltweiten Energiesystems sind die Erschwinglichkeit hinsichtlich der Kosten, die Verlässlichkeit der Energieversorgung und die Nachhaltigkeit bezüglich der Emissionen.
  - 2017 sank erstmals die Zahl der Menschen ohne Zugang zur Elektrizität unter eine Milliarde. Wobei mehr als 700 Mio. Menschen, vor allem in Teilen der Subsahara-Afrikas keinen Zugang zu Strom haben. Die Nutzung von Biomasse geht nur langsam zurück.
  - Der Stromsektor wird mit 40 % der größte Wachstumsbereich sein. Der Anteil am weltweiten Endverbrauch nähert sich 20 % und nimmt weiter zu. Aufgrund der zunehmenden Wettbewerbsfähigkeit expandiert die Stromerzeugung aus PV- und Windkraftanlagen und erfordert einen flexiblen Systembetrieb als entscheidende Basis für eine stabile Versorgung.
- **Fossile Energieträger:**
  - Erdgas: Anstieg des Bedarfs um ca. 50 % (Anstieg um ca. 1,5 % p. a.) Die Hälfte des Anstiegs entfällt auf Asien.
  - Erdöl: Anstieg des Bedarfs um ca. 20 % (z. Zt. ca. 90 Mio. Barrel pro Tag). Der Einsatz von emissionsärmerem Öl und Gas könnte deren Emissionen um 25 bzw. 30 % reduzieren.
  - Kohle: im günstigsten Fall gleich bleibender Bedarf
  - Kernenergie: ca. 10 % vor allem durch die Anwendung in China, USA und Japan
- **Regenerative Energien:**
  - Etwa 1,8 Mrd. Menschen werden weiterhin auf feste Biomasse als Kochbrennstoff angewiesen sein (z. Zt. ca. 2,7 Mrd.)
  - Der Anteil der Regenerativen Energien an der Primärenergie wird von z. Zt. ca. 14 % (85% Biomasse) auf mindestens 19 % ansteigen.
  - 40 % der Stromerzeugung wird auf der Basis von Erneuerbaren Energien beruhen. Dabei wird in den größten Strommärkten (China, USA, EU und Indien) dieser Anteil schon vor 2040 erreicht. Den wesentlichen Anteil werden PV- und Winkkraftanlagen leisten.
  - Neben der Kostensenkung müssen die regenerativen Energien weiterhin gestützt werden und die Integration in die Systeme durch strukturelle Veränderungen vorangetrieben werden.
- **Der Weg zum Klimaziel 1,5 bzw. auch 2° C ist steinig:**
  Das Klimaversprechen von Paris, den Anstieg der energiebedingten CO2-Emission zu verlangsamen, reicht nicht aus um die globale Erwärmung auf 2° C zu begrenzen. China, Indien, USA und EU kommt hier ein Schlüsselrolle zu. Allerdings müssen diese Länder bzw. Regionen hinsichtlich der Energieeffizienz weitere Anstrengungen unternehmen und die CO2-Emission drastisch senken.
- **Wechselseitige Abhängigkeit von Energie und Wasser:**
  Der Energiesektor benötigt z. Zt. ca. 10 % des weltweiten Wasserbedarfs. Ca. 4% des globalen Stromverbrauchs werden für die Gewinnung, Verteilung und Aufbereitung von Wasser und Abwasser benötigt. Je mehr für die Dekarbonisierung Biokraftstoffe, solarthermische Kraftwerke, CO2-Abscheidung oder Kernenergie eingesetzt werden, umso höher ist der Wasserverbrauch.

Quelle: World Energy Outlook 2016 und 2018, Internationale Energie Agentur (IEA)

Weltweiter Energiehunger nach Regionen
Primärenergieverbrauch (PEV)

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

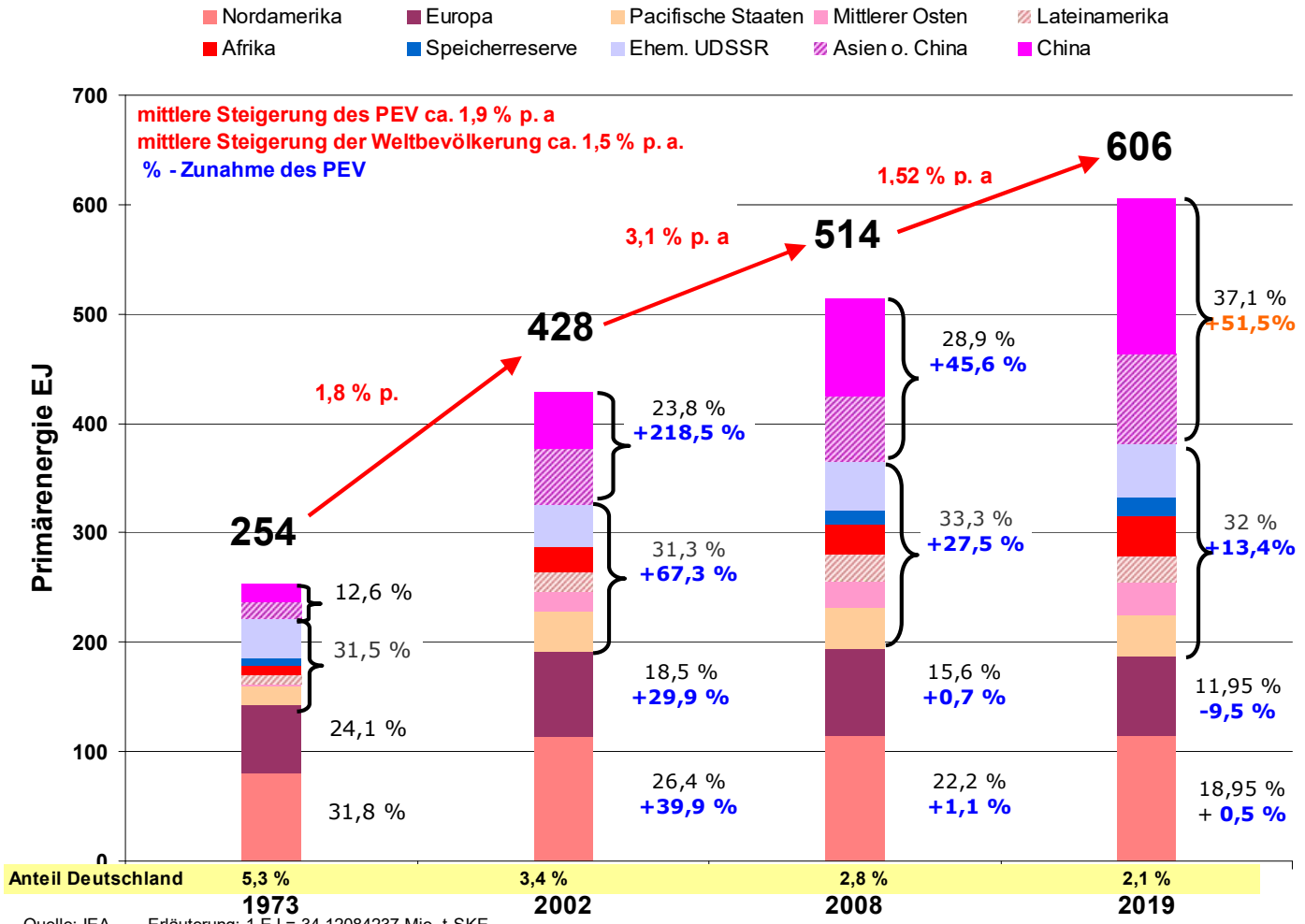


Quelle: Internationale Energie Agentur

1 EJ ($J*10^{18}$) ≅ 34,12 Mio. t SKE

Weltweiter Energiehunger nach Regionen
Entwicklung PEV

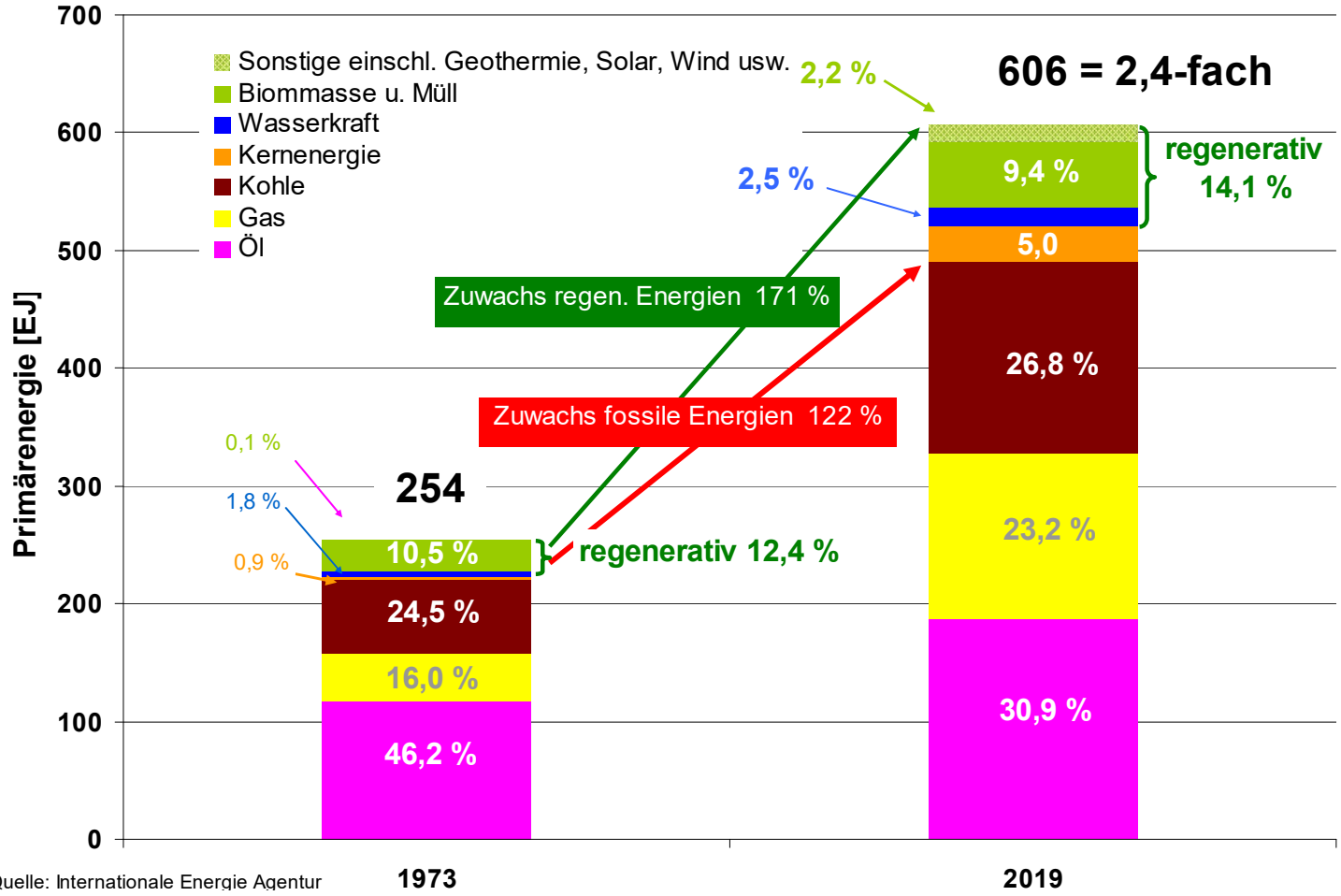
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: IEA Erläuterung: 1 EJ = 34,12084237 Mio. t SKE

Weltweiter Energiehunger nach Energiearten
Entwicklung PEV

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

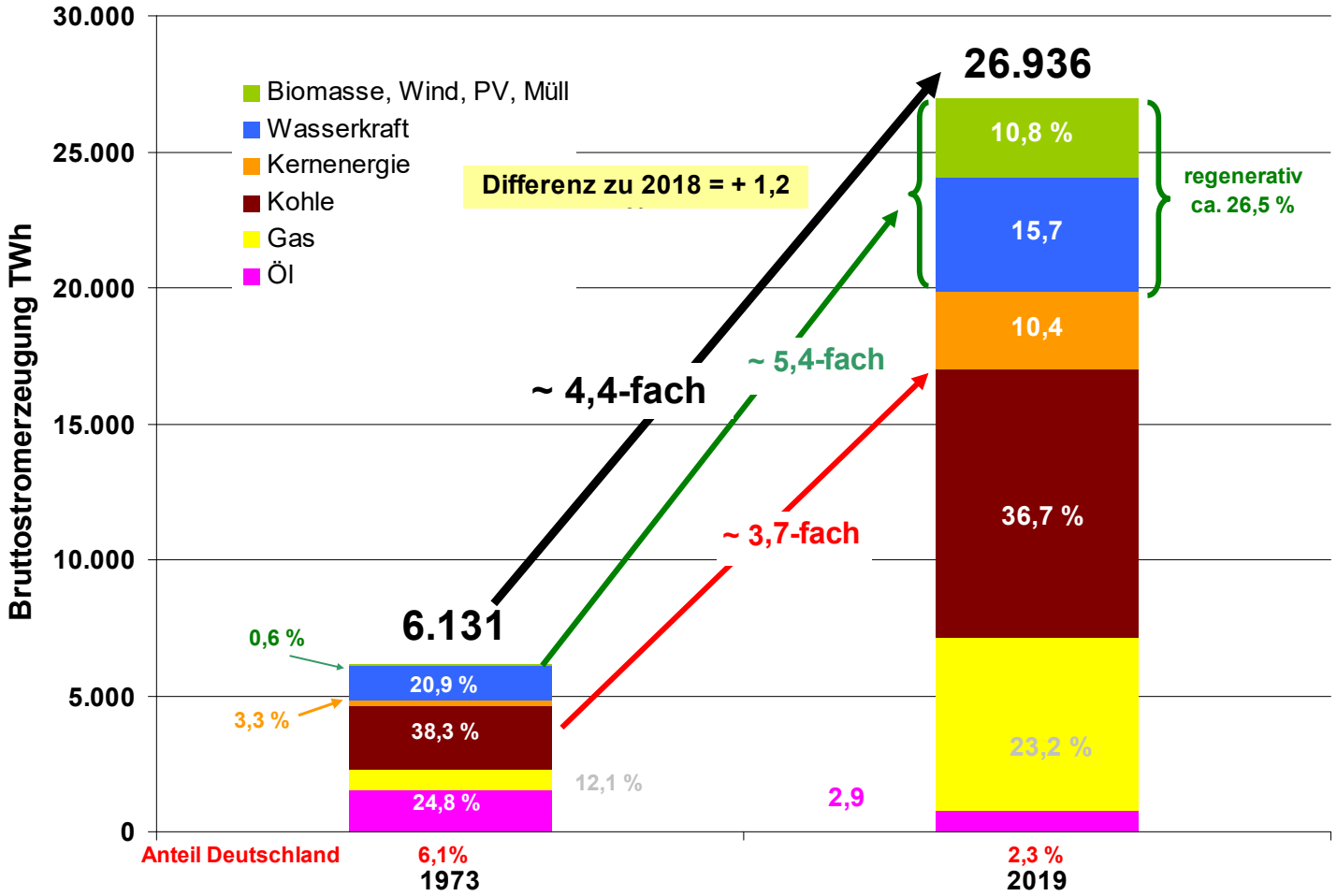


1 EJ ≅
34,12 Mio. t SKE

Quelle: Internationale Energie Agentur

Weltweiter Strombedarf nach Energiearten

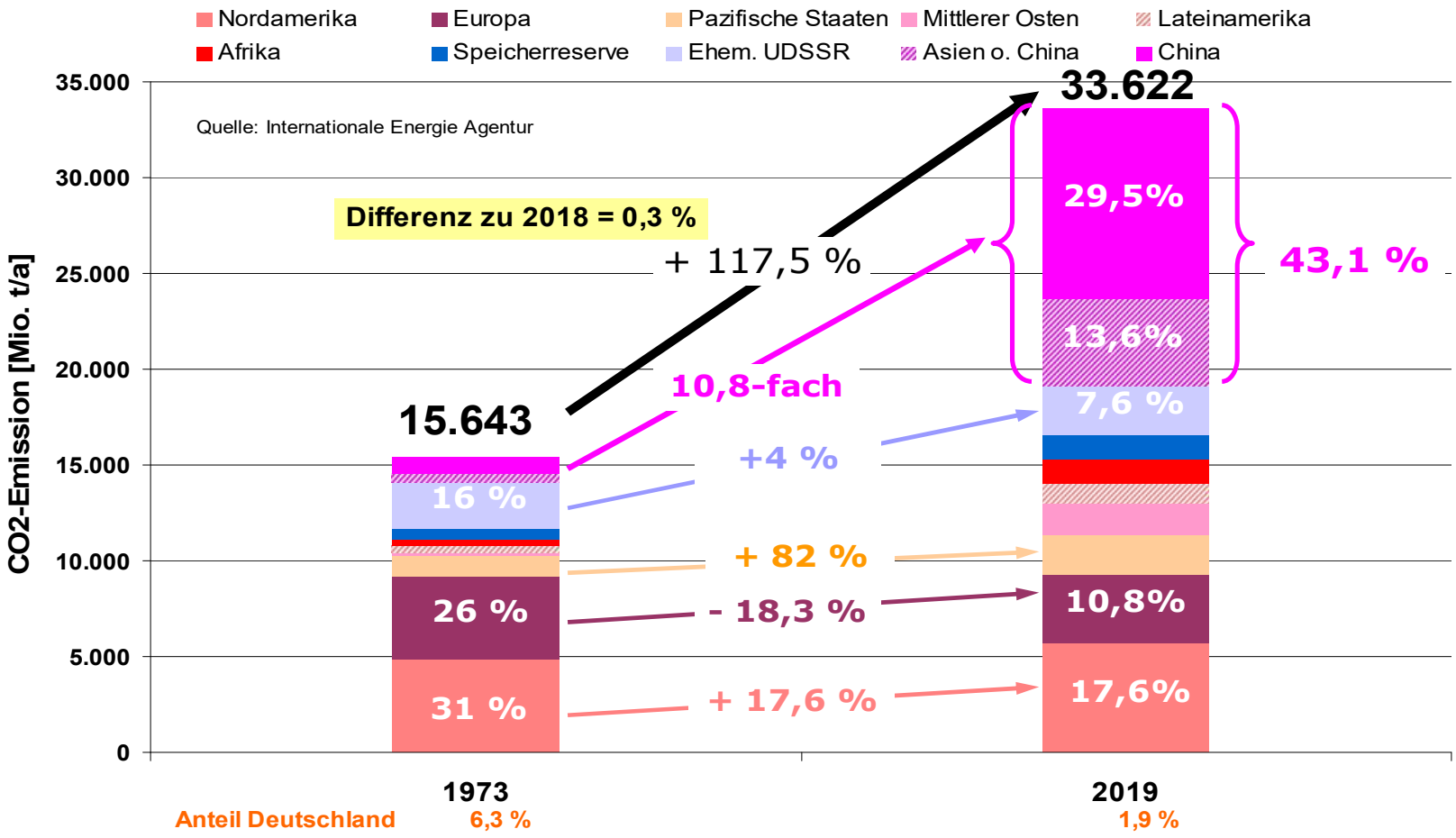
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Internationale Energie Agentur

Entwicklung der CO2-Emission der Welt aus der Verbrennung fossiler Energieträger

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

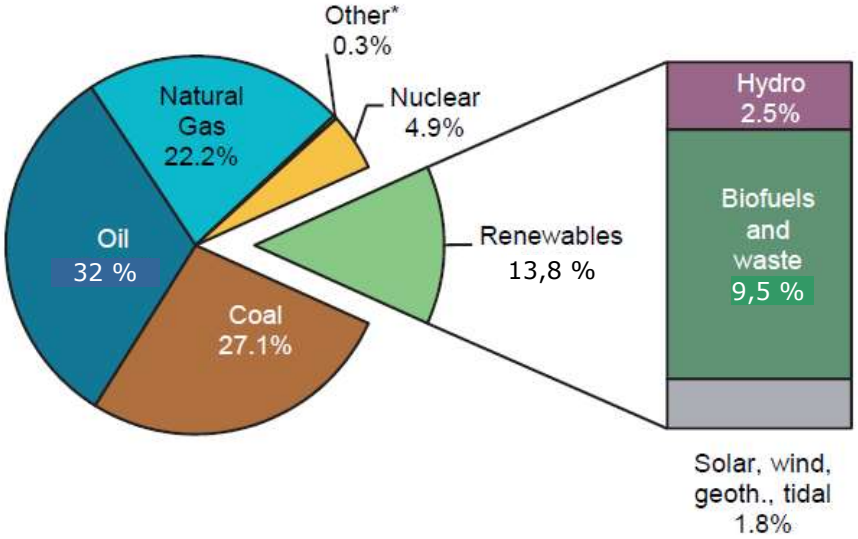


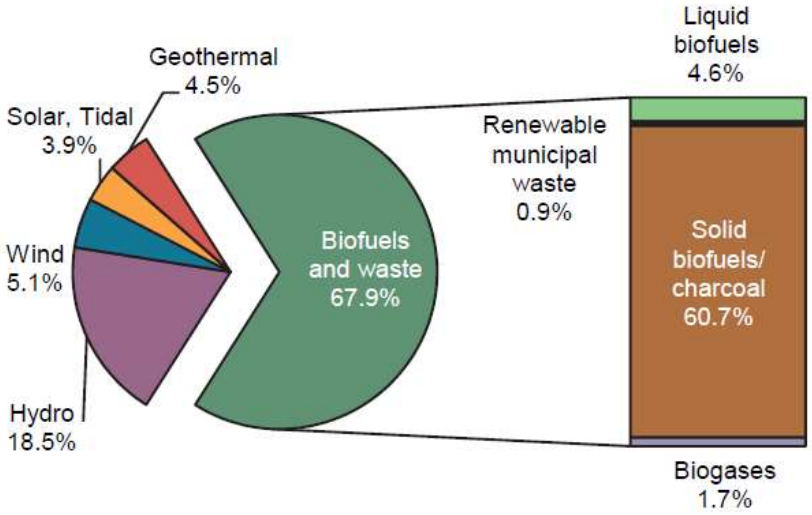
Quelle: Internationale Energie Agentur (IEA)

November 2021

Regenerativer Primärenergieverbrauch (PEV) der Welt 2017

Solarenergieförderverein Bayern e. V.





585 EJ

80,73 EJ
= 13,8 %

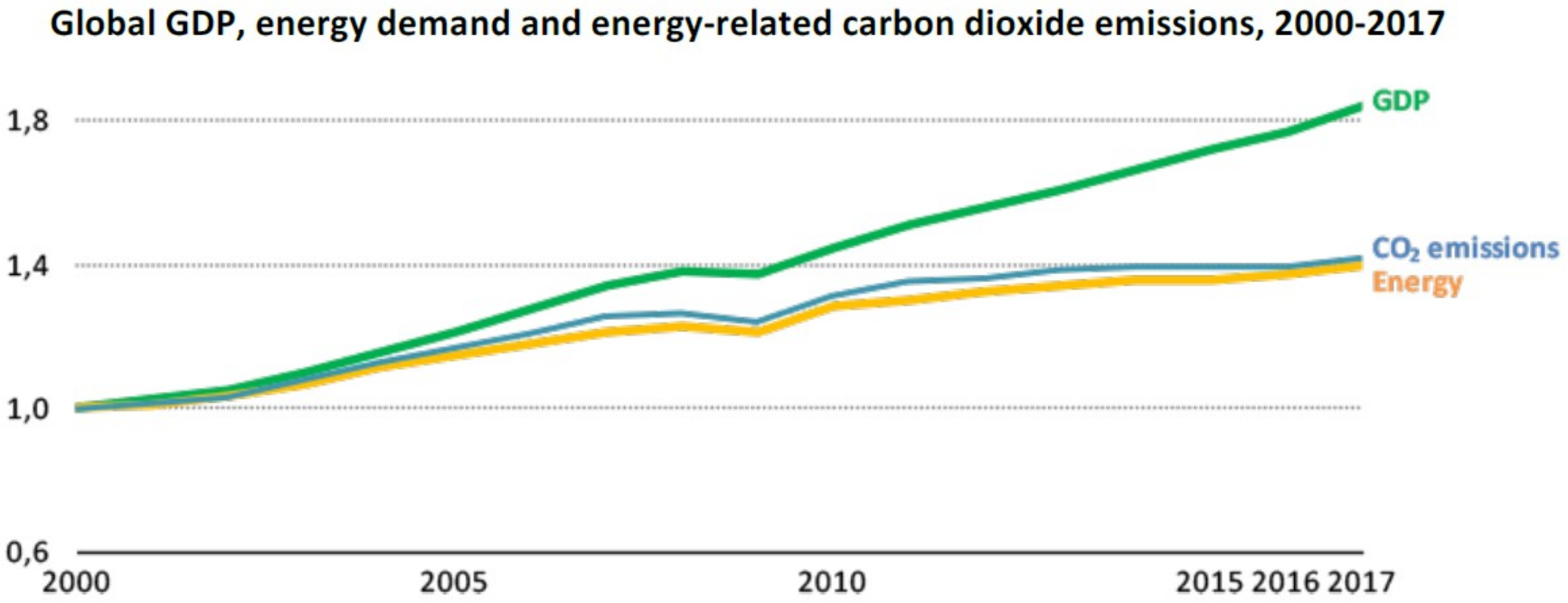
PEV 2019:
606 EJ

Anteil Erneuerbare 2019:
85,4 EJ
= 14,1 %

Quelle: Internationale Energie Agentur (IEA)
November 2021

Entwicklung PEV, CO_2-Emission und Gross Domesic Product (GPD ~ BIP) der Welt

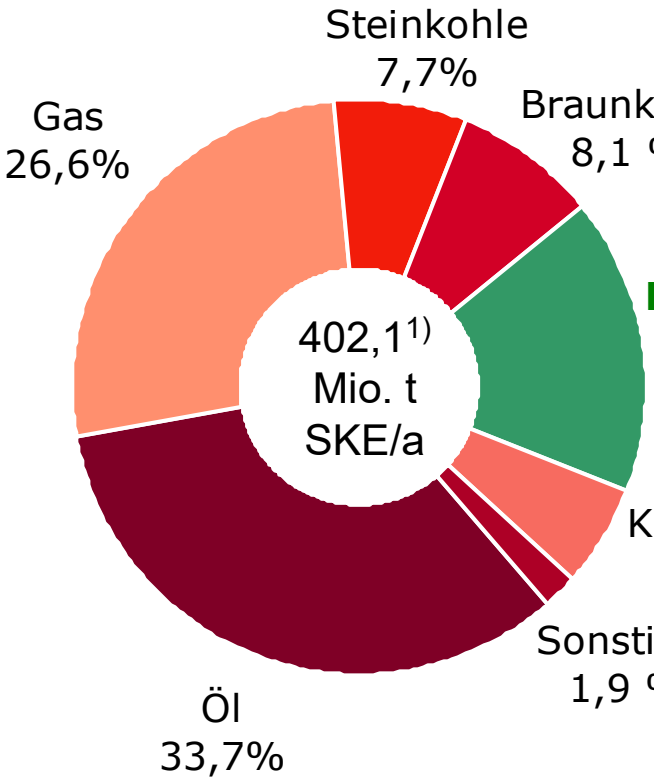
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Internationale Energie Agentur (IEA); Global Energy & CO2 Status Report 2017

Primärenergieverbrauch (PEV) in Deutschland 2020

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Regenerativ 16,6%

Endenergie-verbrauch

~ 67 % von PEV

davon ca. 54 % für Wärme

- **Regenerative: ca. 54 % = Biomasse**
- **Heimische Energiequellen ~ 28 %**

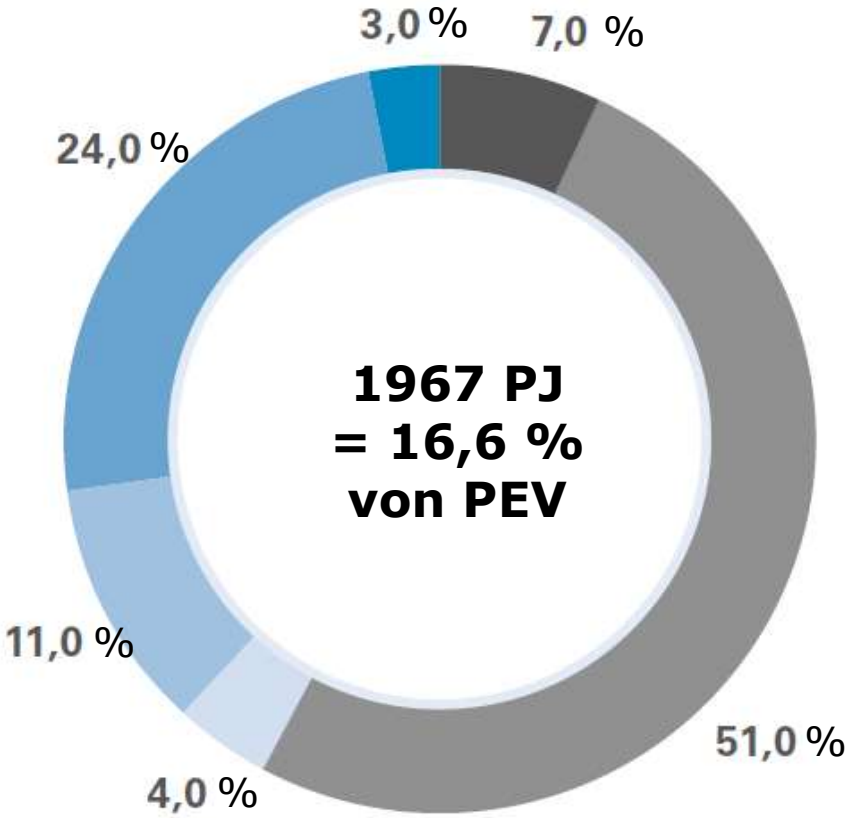
BRD: 402,1 Mio. t SKE/a = 3273,3 TWh/a = 11784 PJ/a
Steinkohlezug: Länge ca. 4-facher Erdumfang

[1)] Berücksichtigt ist der Stromaustausch -0,6 %

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) und BMWI
November 2021

Primärenergiebeitrag der regenerativen Energiequellen für Deutschland 2020

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



% von PEV		
0,57	Wasserkraft	
4.00	Windenergie	
1) 1,82	Solarenergie	
2) 0,62	Geothermie	
3) 8,55	Biomasse	ca. 38 % davon Biogas
4) ,1,09	Abfälle	

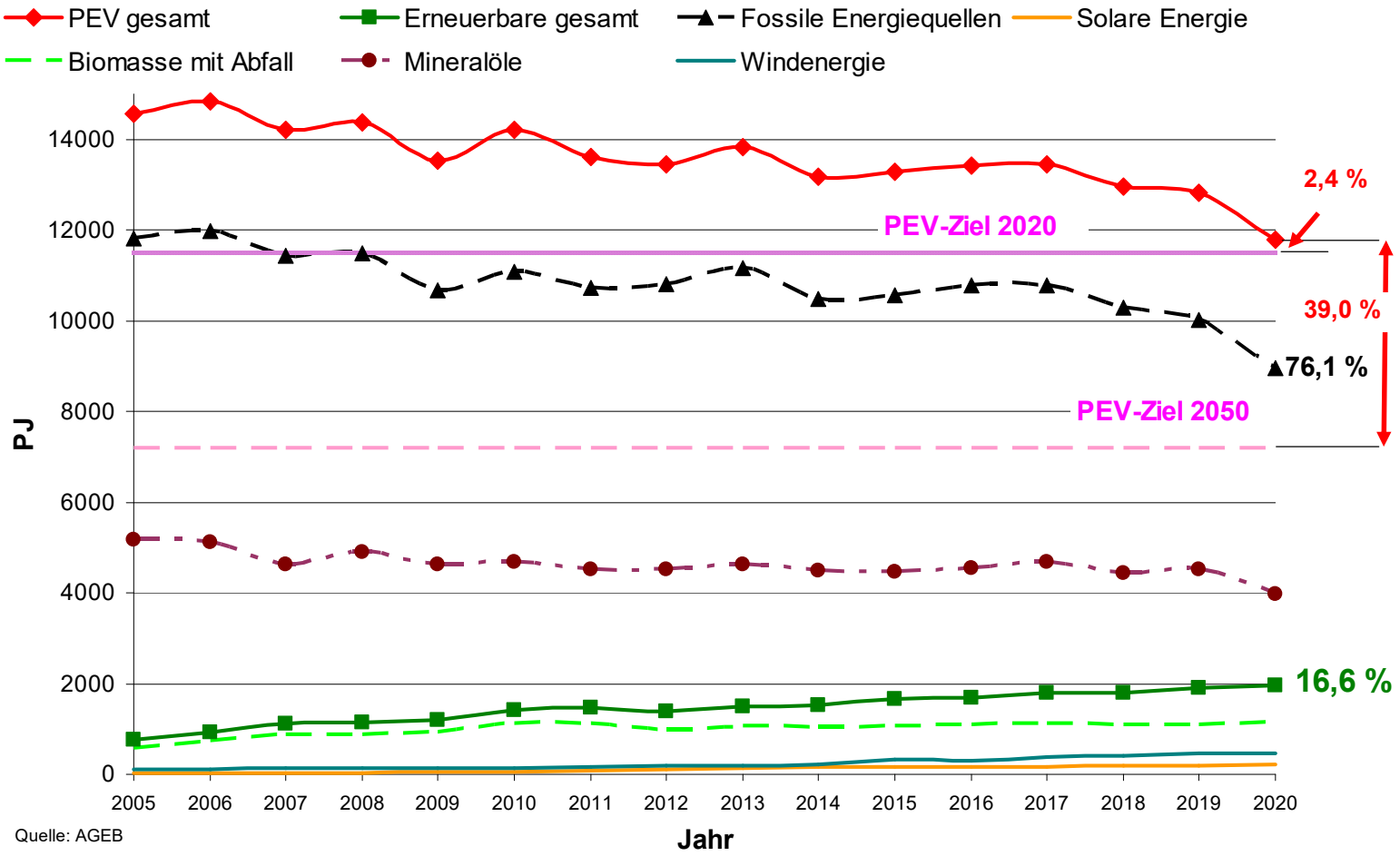
Anteil für Wärme ca.	
1)	14,5 %
2)	83,6 %
3)	60,0 %
4)	17,9 %

Quelle: AGEB

November 2021

Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland von 2005 - 2020

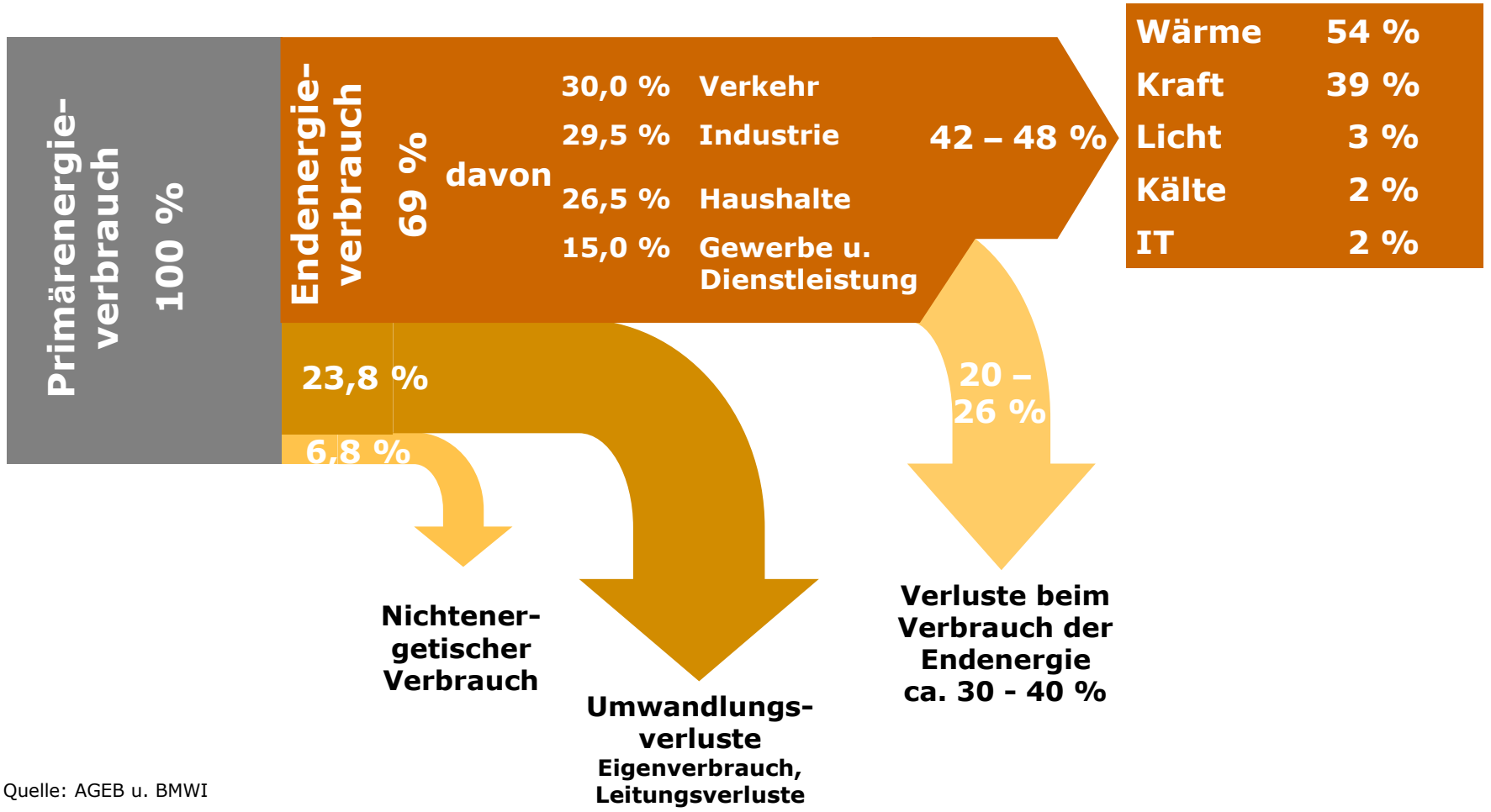
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: AGEB

Energiefluss in Deutschland 2020 (ca.)

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

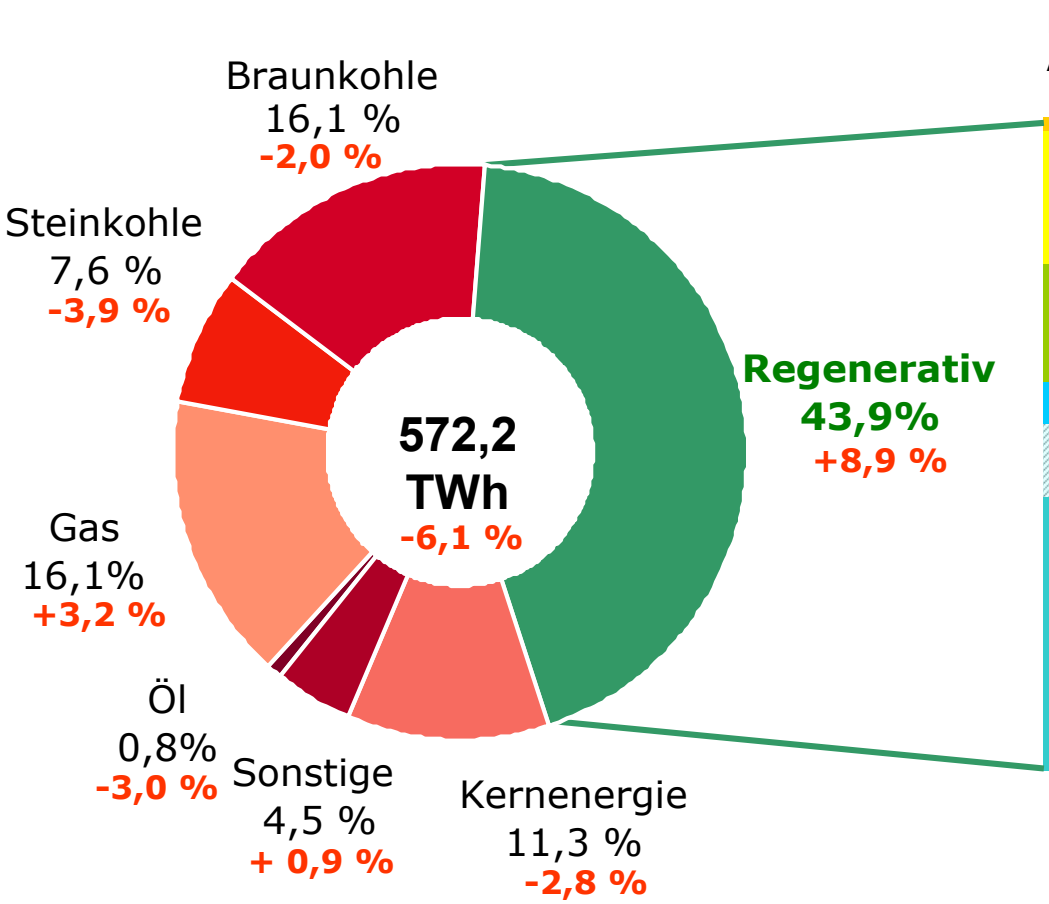


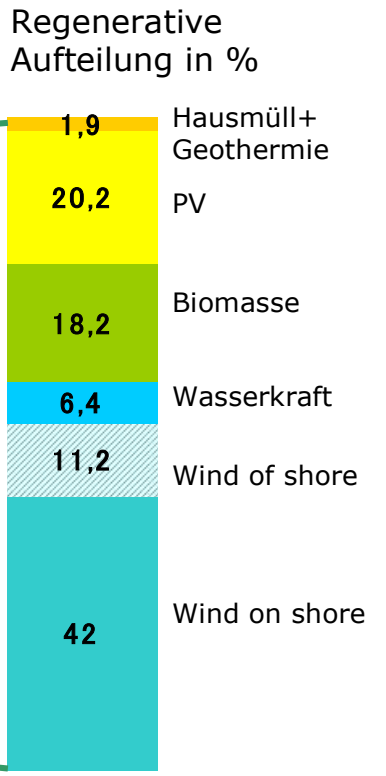
Quelle: AGEB u. BMWI

November 2021

Bruttostromerzeugung in Deutschland 2020

Solarenergieförderverein Bayern e. V.





Rot = Änderung gegenüber 2019

Anmerkung: Sondereffekt der Corona-Pandemie

Ca. 33 % (= 134 Mio. t SKE) der Primärenergie wird für die Stromerzeugung eingesetzt.

Ca. 42 % ist der durchschnittliche Nettowirkungsgrad der konvent. Stromerzeugung

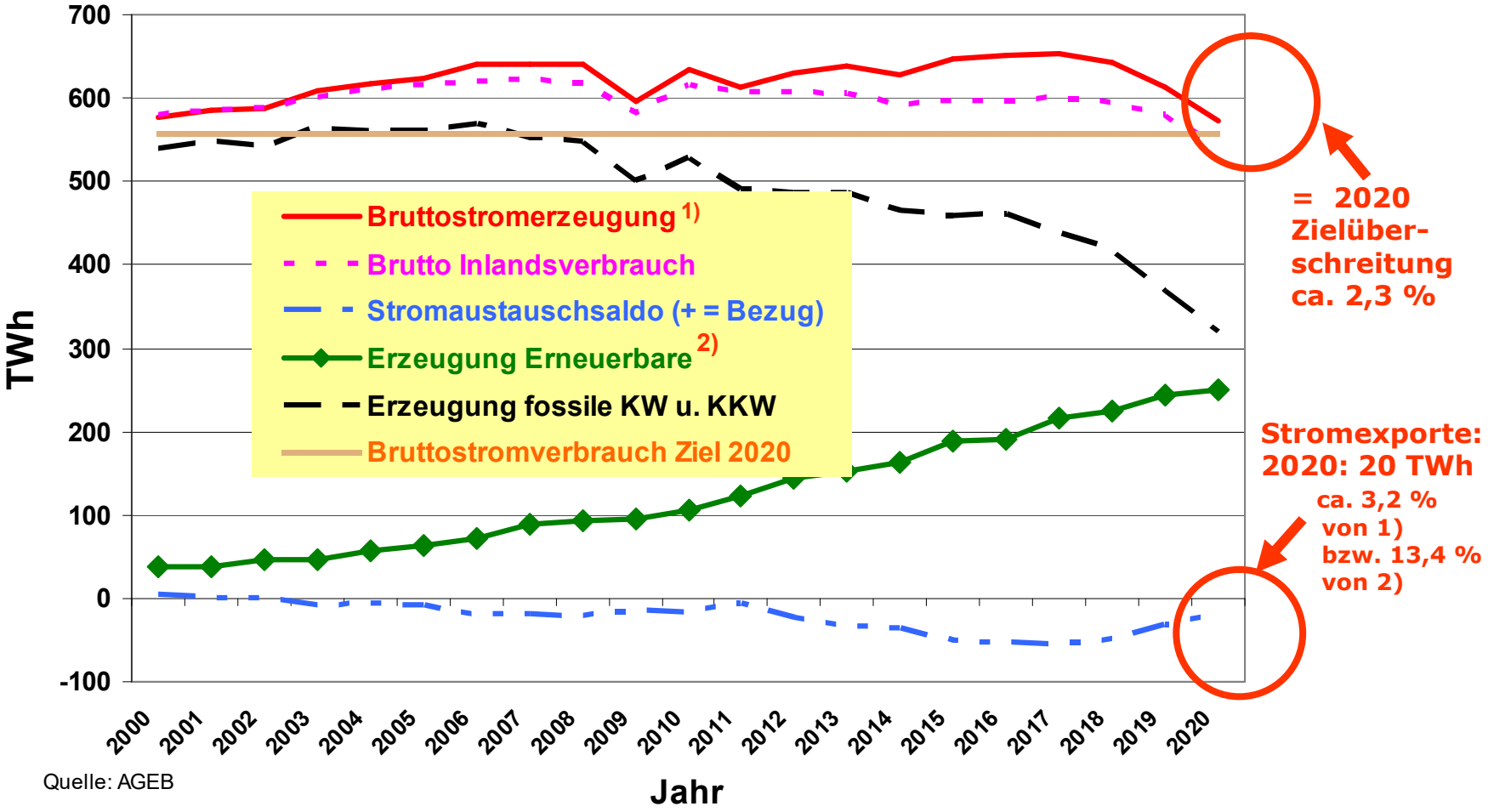
Der Anteil des KWK-Stroms ist ca. 18 - 19 %

Quelle: AGEB

November 2021

Entwicklung von Stromerzeugung und Stromverbrauch in Deutschland von 2000 - 2020

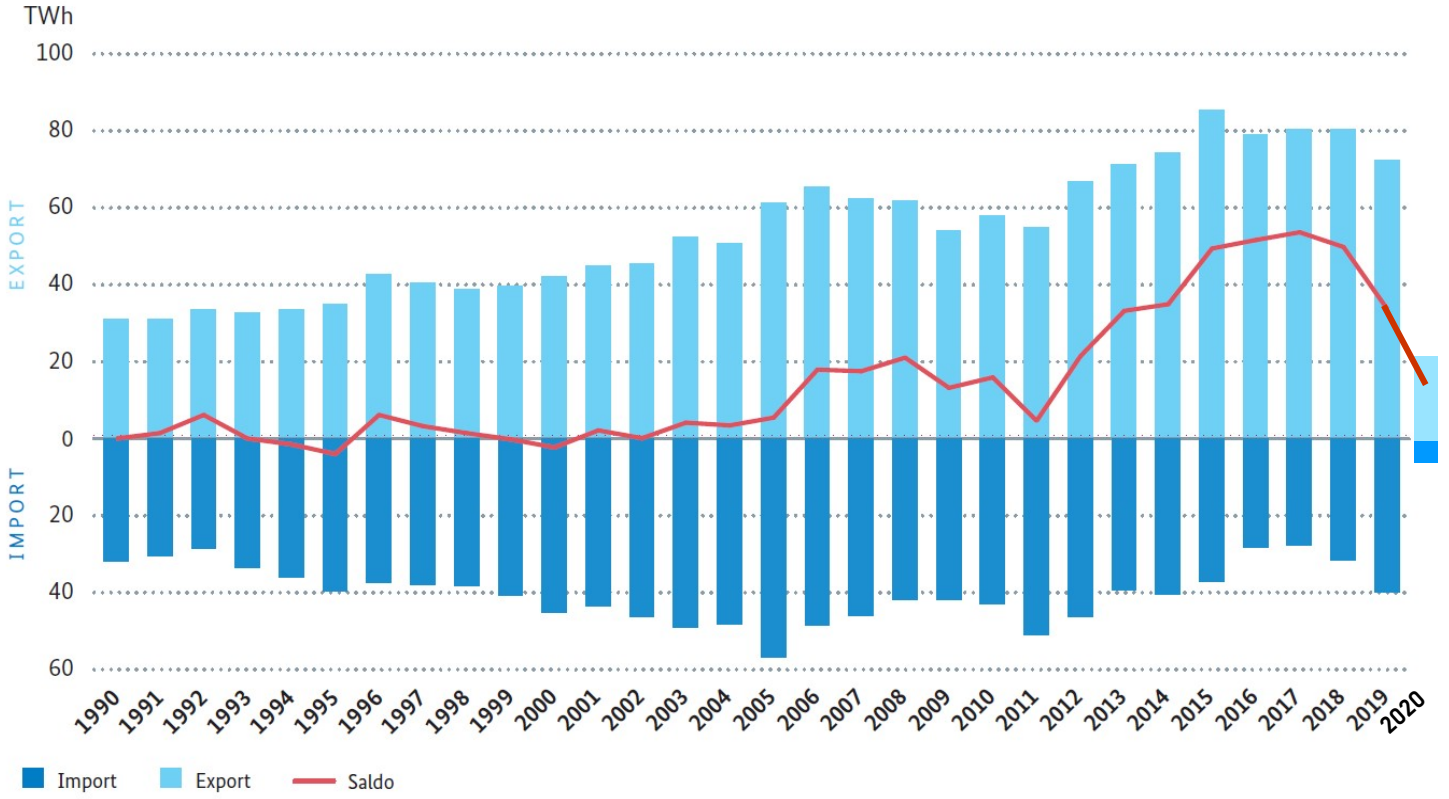
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: AGEB

Stromaustausch von Deutschland mit den Nachbarländern von 1990 - 2020

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



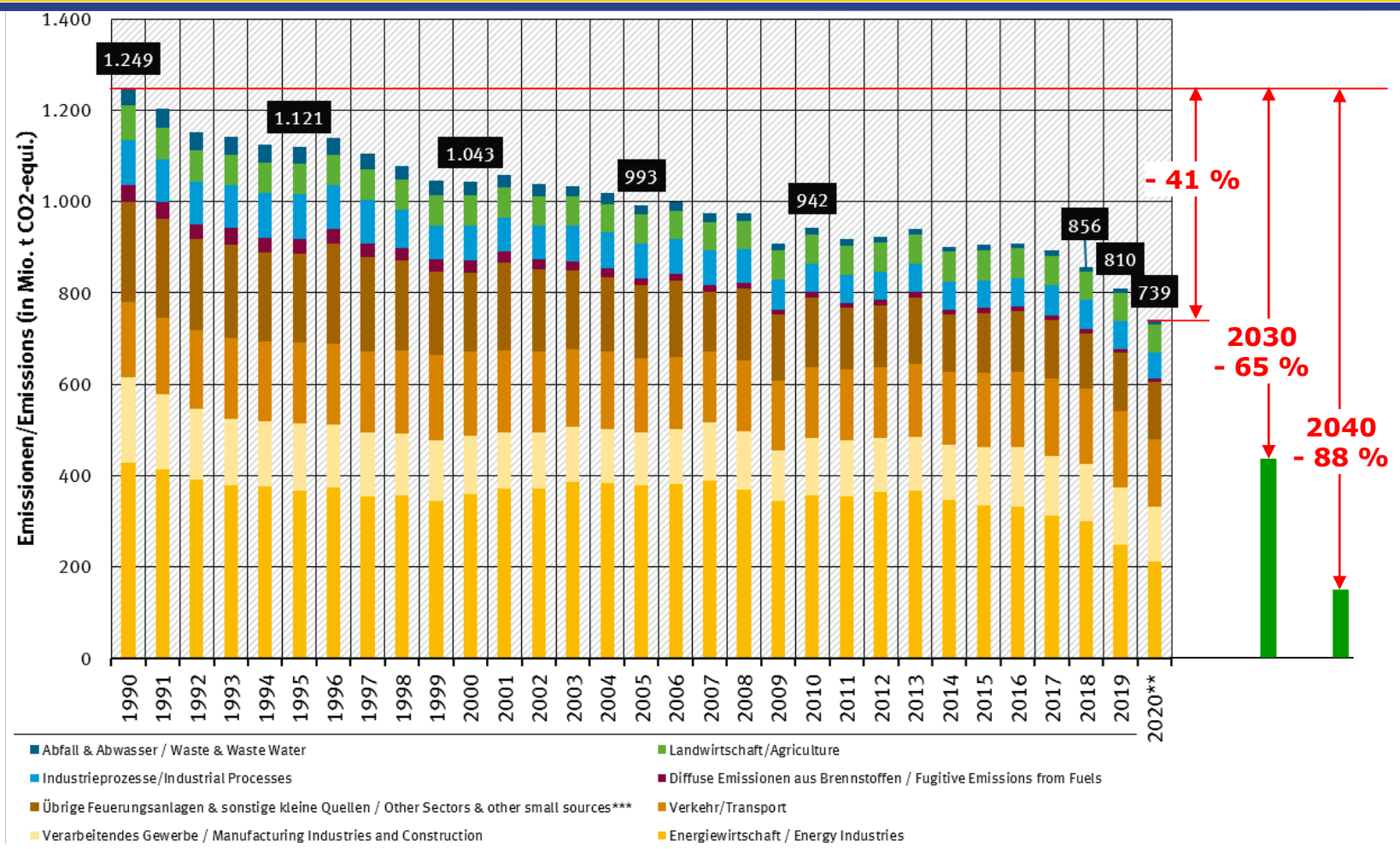
Quelle: Statistisches Bundesamt, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, AGEB

2020	TWh
Gesamter Export	-20,1
Gesamter Bezug	5,9
Exportüberschuss	-14,2
Austausch mit Nachbarn:	
Anteil Schweiz	-4,9
Anteil Österreich	-10,0
Anteil Niederlande	-0,07
Anteil Polen	-11,2
Anteil Luxemburg	-4,1
Anteil Tschechien	-3,9
Anteil Dänemark	-3,4

- = Exportüberschuss
Quelle: AGEB

Klimagasemission von Deutschland - Ziel bis 2045 klimaneutral

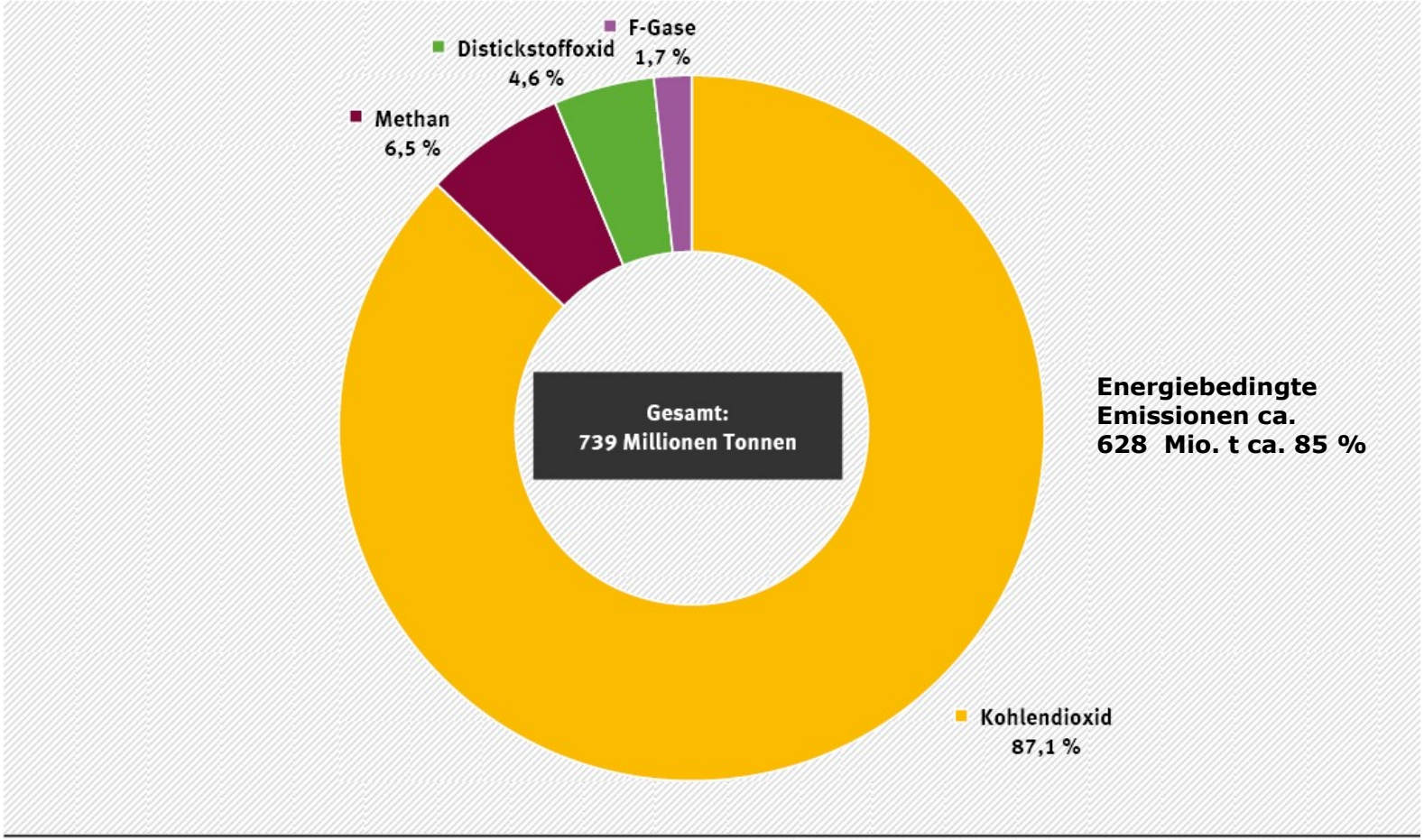
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Umweltbundesamt; Presseinformation 07/2021 vom 15.03.2021; *** = Vorjahresschätzung

Emissionen Deutschland
Kohlendioxidäquivalente 2020
aufgeteilt nach Treibhausgasen

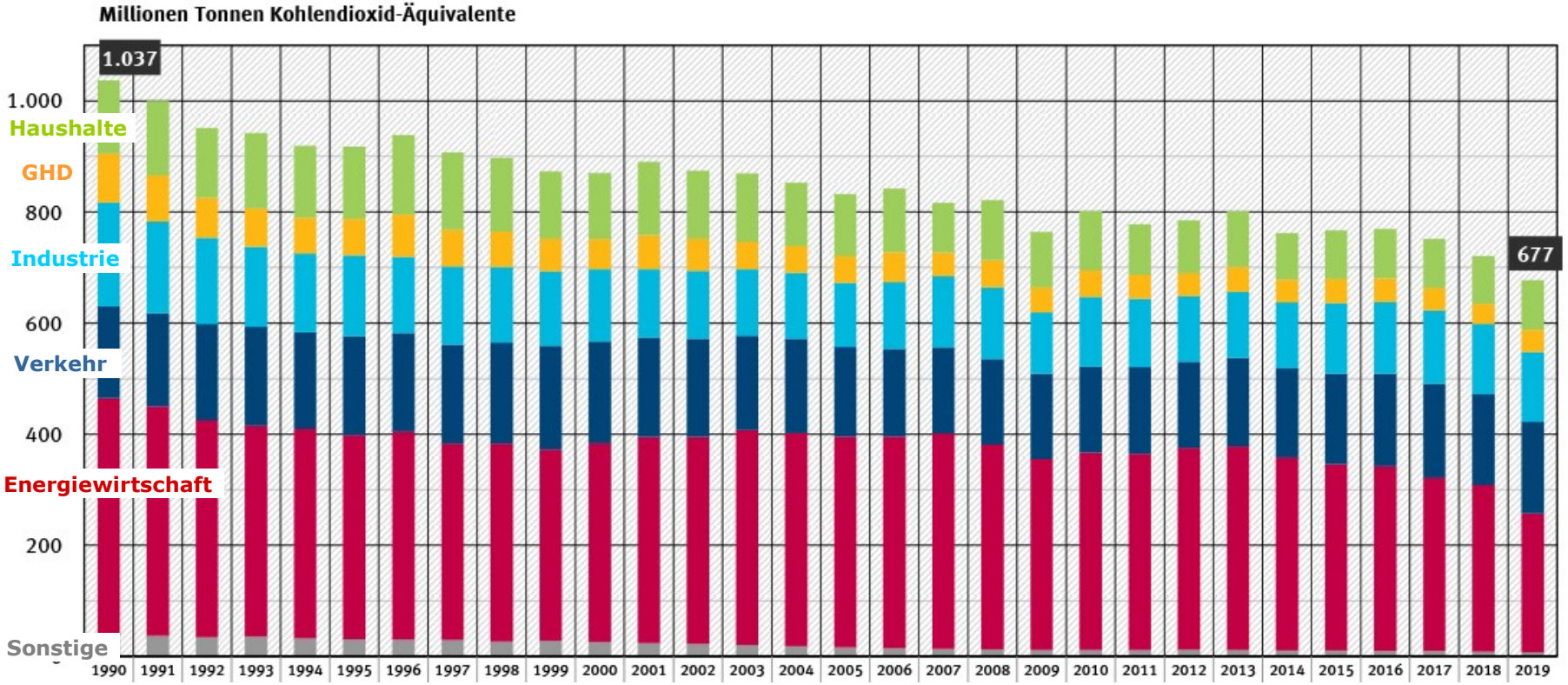
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2019 (Stand 12/2020) sowie Vorjahresschätzung (VJS) für das Jahr 2020 (PI 07/2021 vom 15.03.2021)

Entwicklung der energiebedingten Klimagas-emissionen Deutschlands aufgeteilt nach Quellengruppen

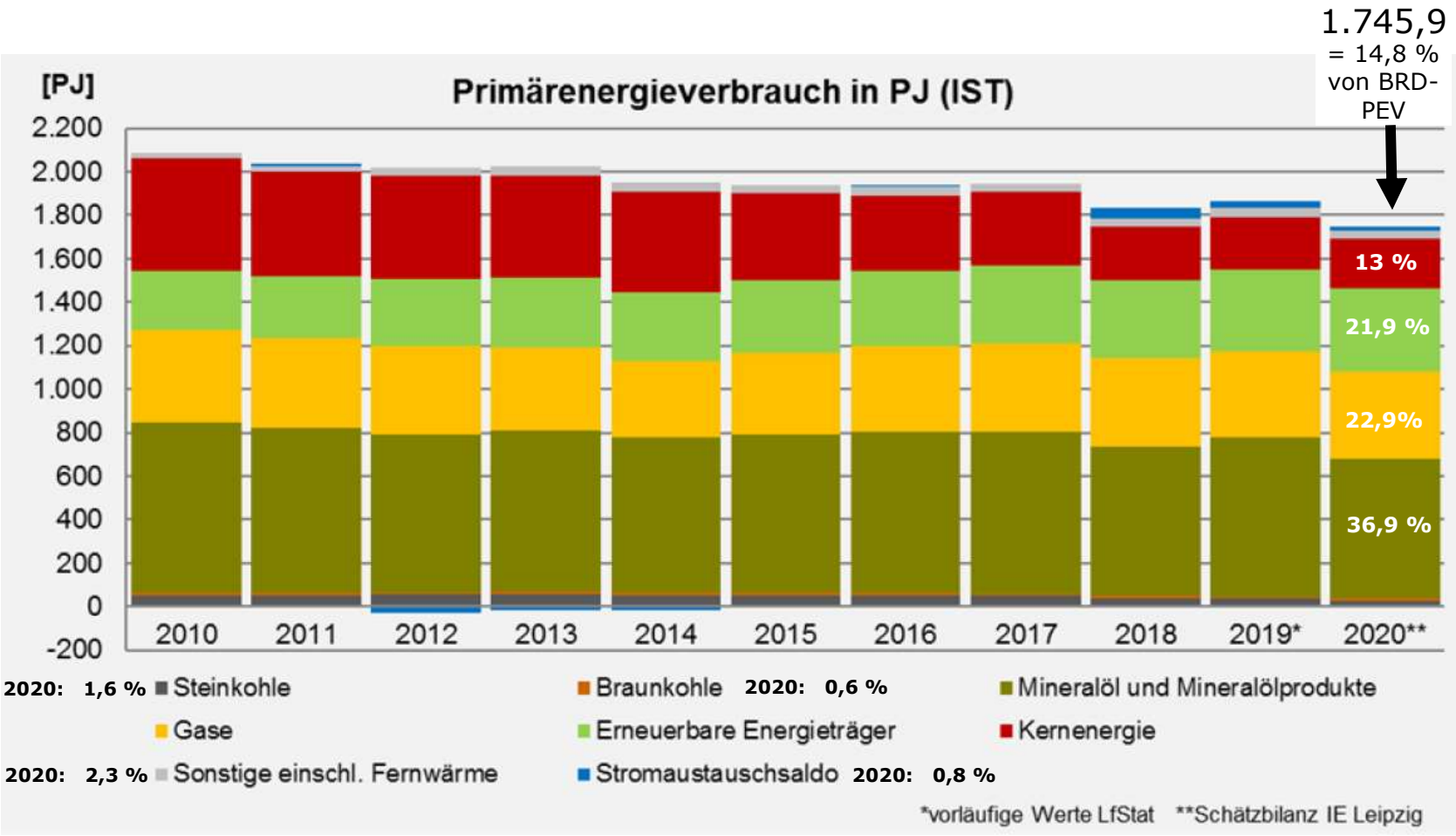
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Umweltbundesamt

Primärenergieverbrauch in Bayern temperaturbereinigt

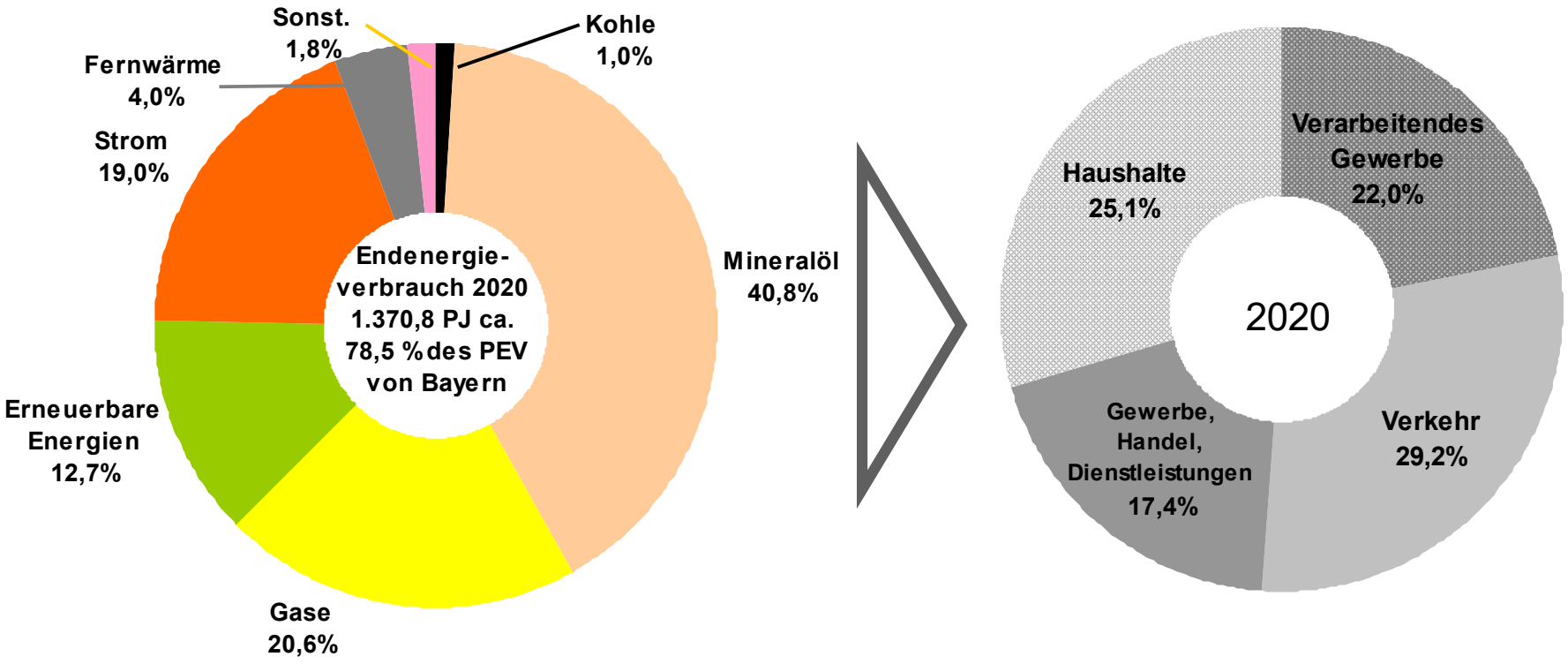
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: BStMWi, Energiedaten.Bayern Schätzbilanz, 10.09.2021

Endenergieverbrauch in Bayern 2020 und Aufteilung in Verbrauchsgruppen

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

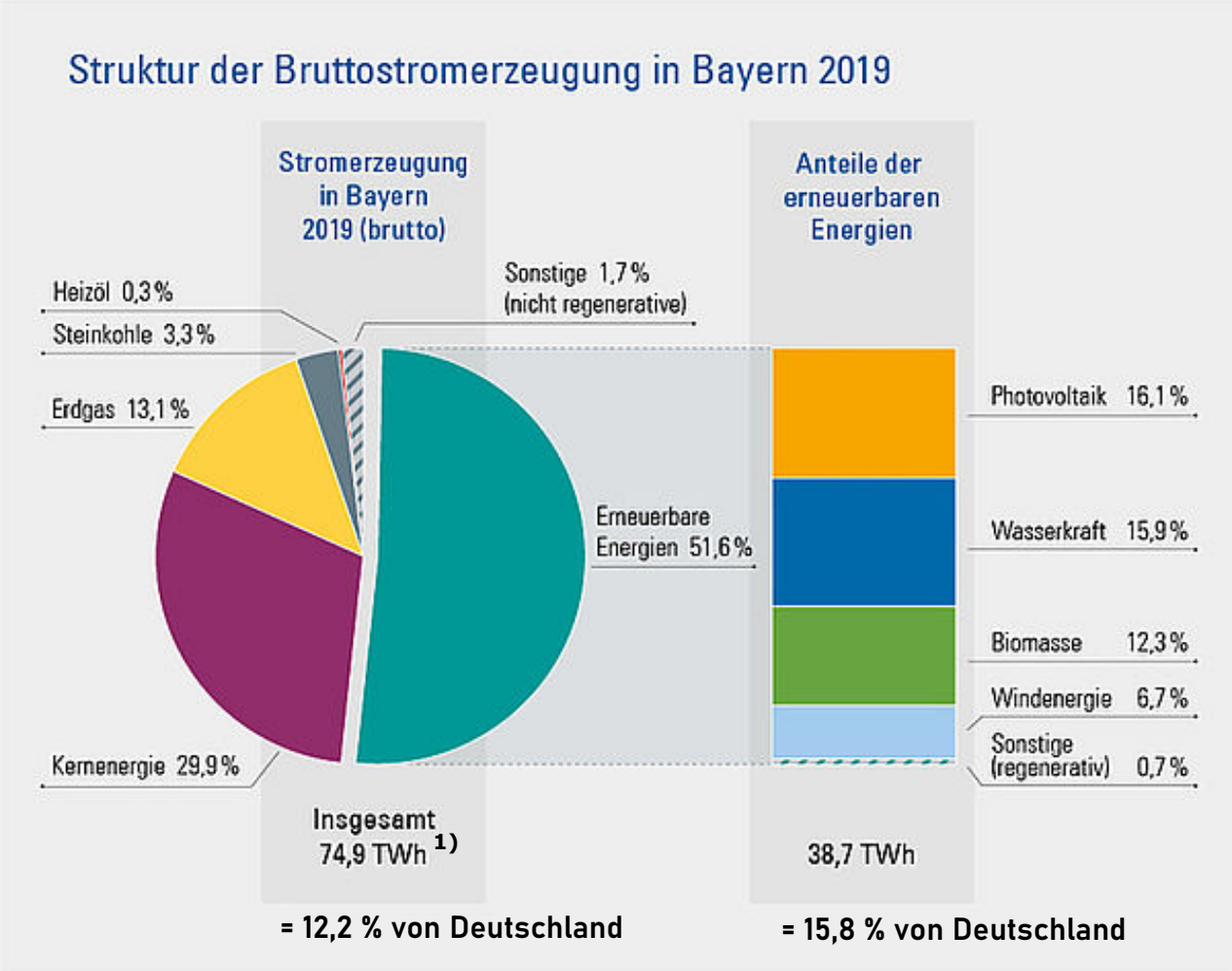


Quelle: BStMWi, Energiedaten.Bayern Schätzbilanz, 10.09.2021

November 2021

Bruttostromerzeugung in Bayern 2019

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



1) **2020 ca. 75,3 TWh = 13,2 % von BRD**

Von Deutschland:

= 26 %

= 60 %

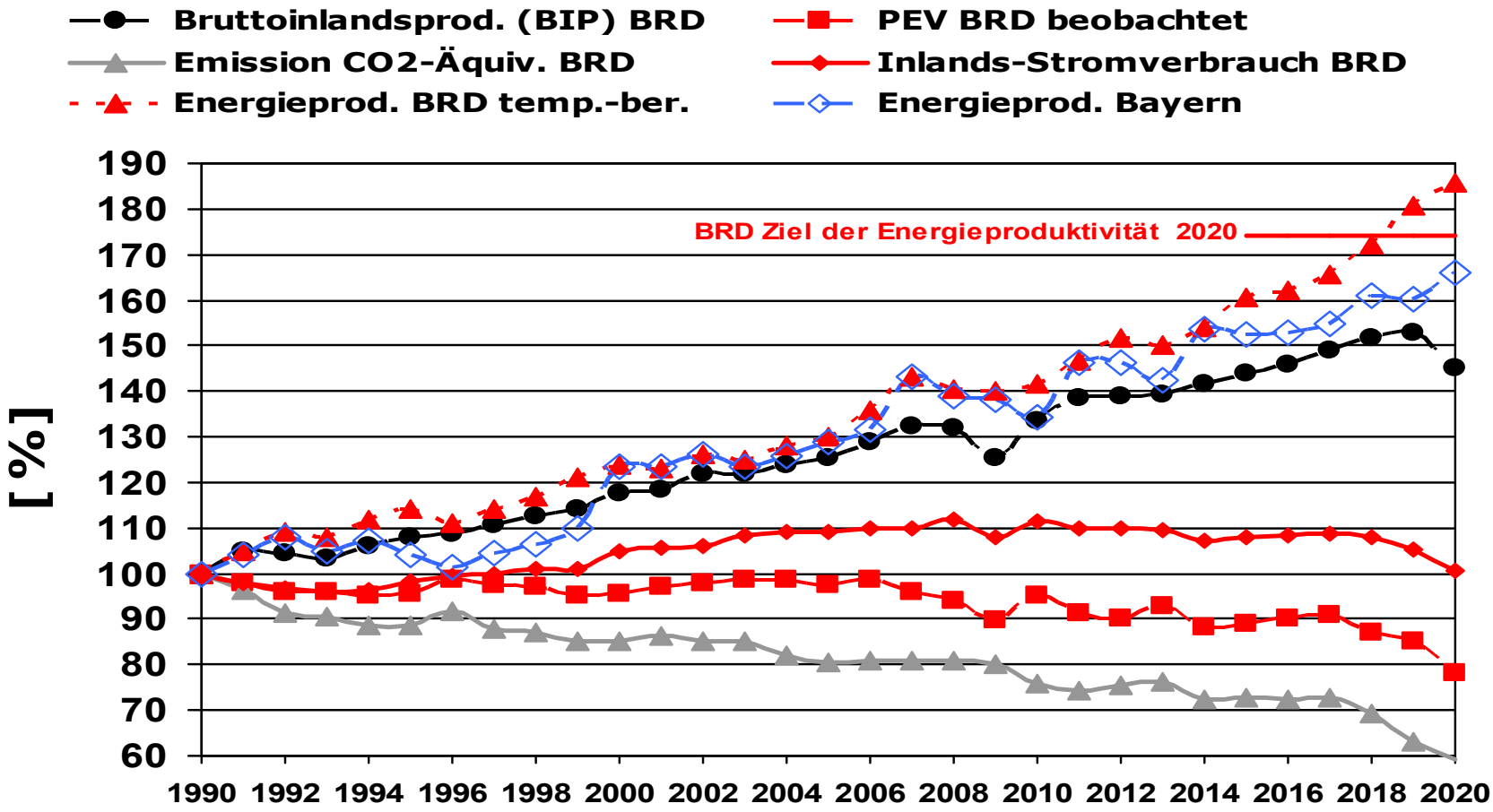
= 20,7%

Quelle: BStMWi

November 2021

Entwicklung von PEV, Bruttoinlandsprodukt (BIP), Inlands-Stromverbrauch, CO2-Emission und Energieproduktivität

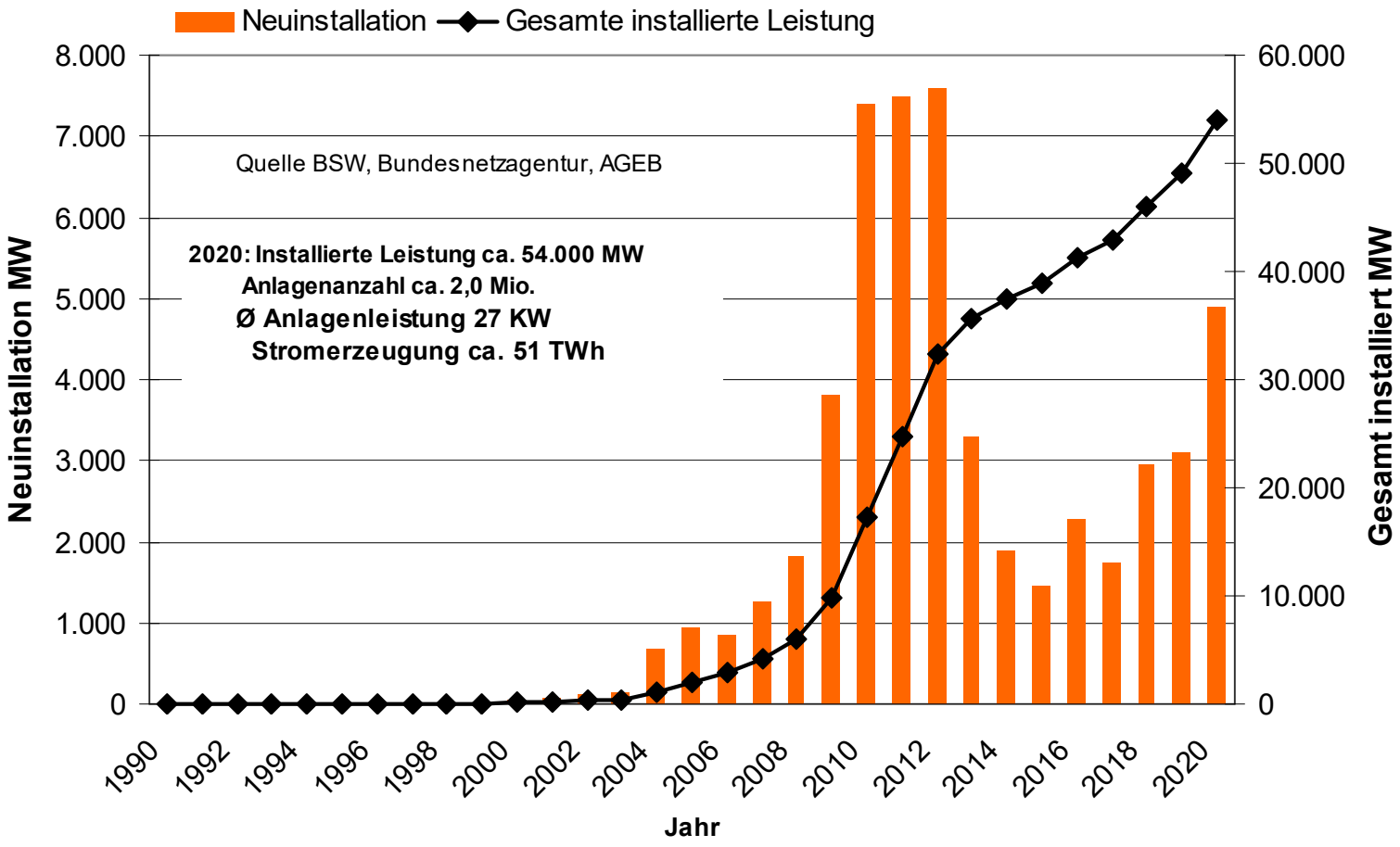
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: AGEB, Statist. Bundesamt, BMU, BMWI, Bayerisches Landesamt für Statistik

Installierte PV-Anlagen in Deutschland

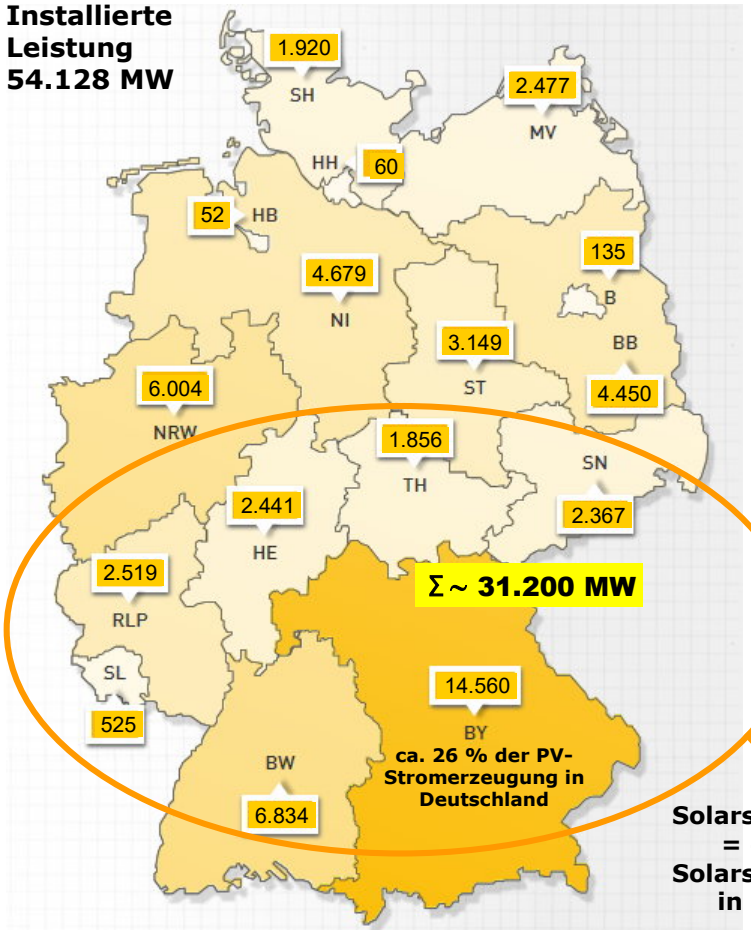
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



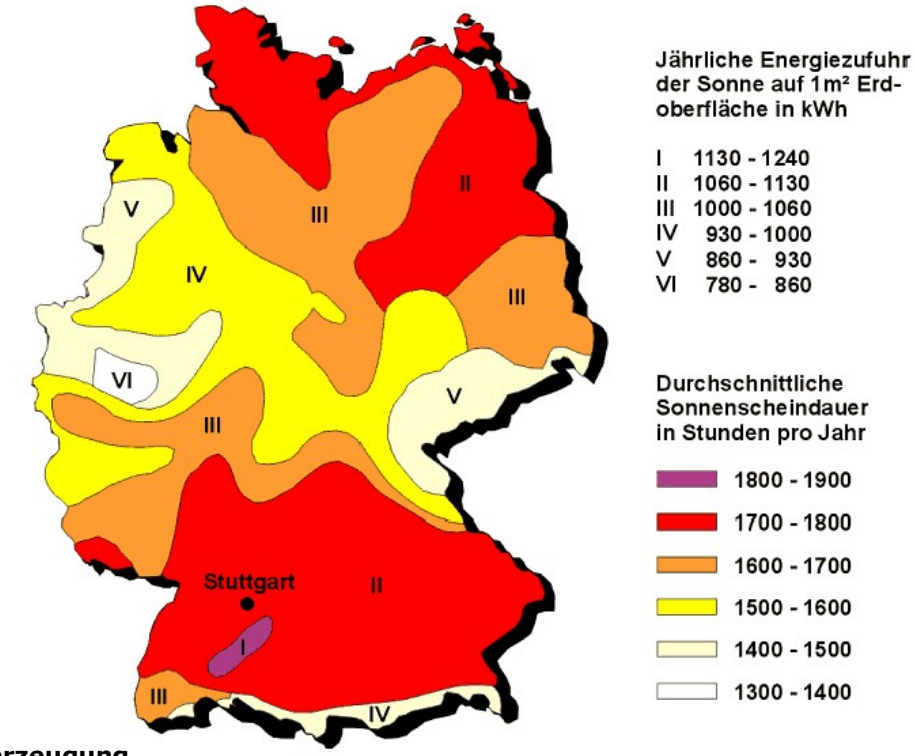
Aufteilung der installierten PV-Leistung 2020 in Deutschland auf die Bundesländer [MW]

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

Globalstrahlung für Deutschland



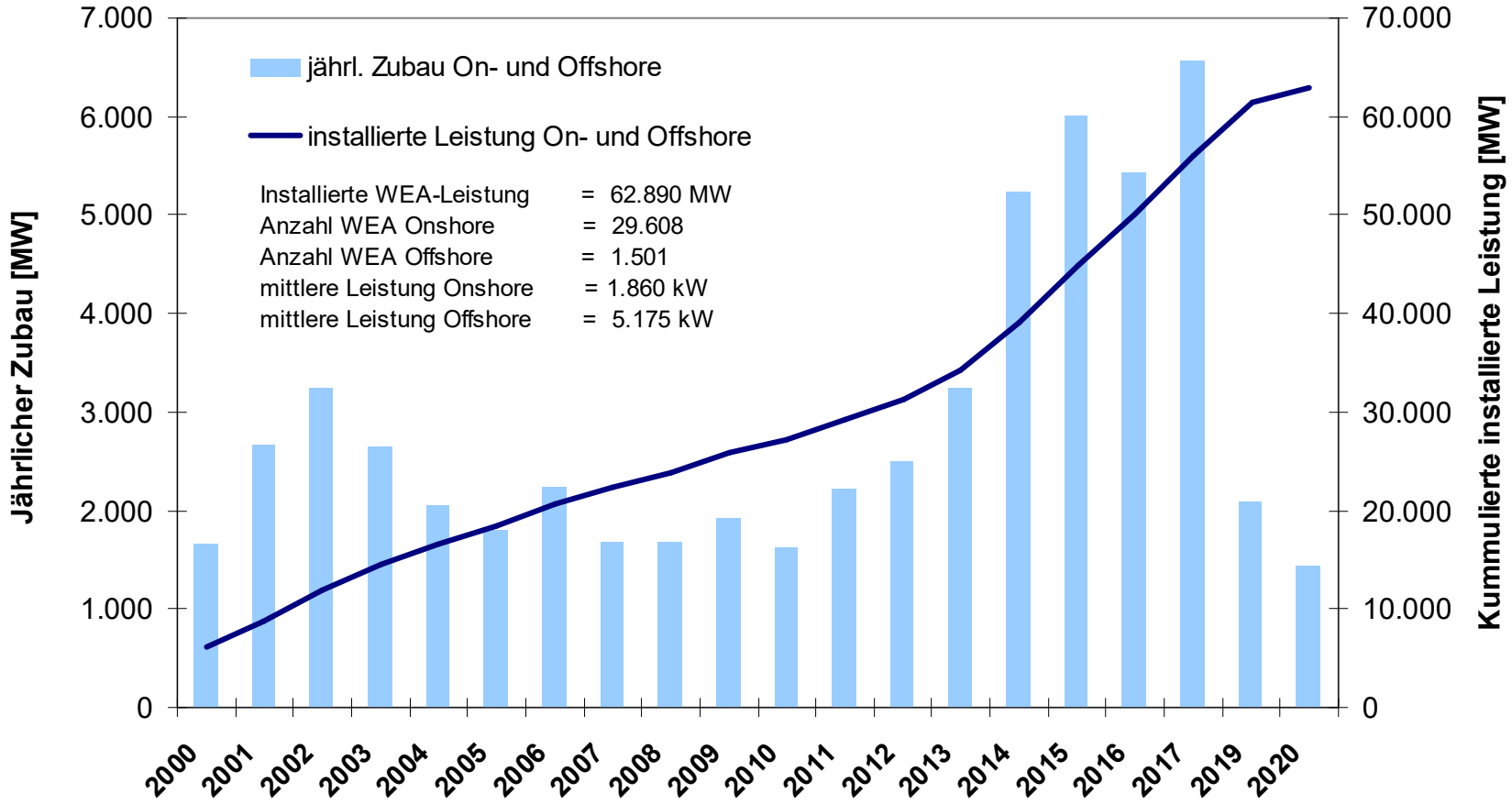
Solarstromerzeugung = ca. 57 % der Solarstromerzeugung in Deutschland



Quelle: www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/
IWR, Statista 2021

Installierte Windenergieleistung 2020 in Deutschland

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

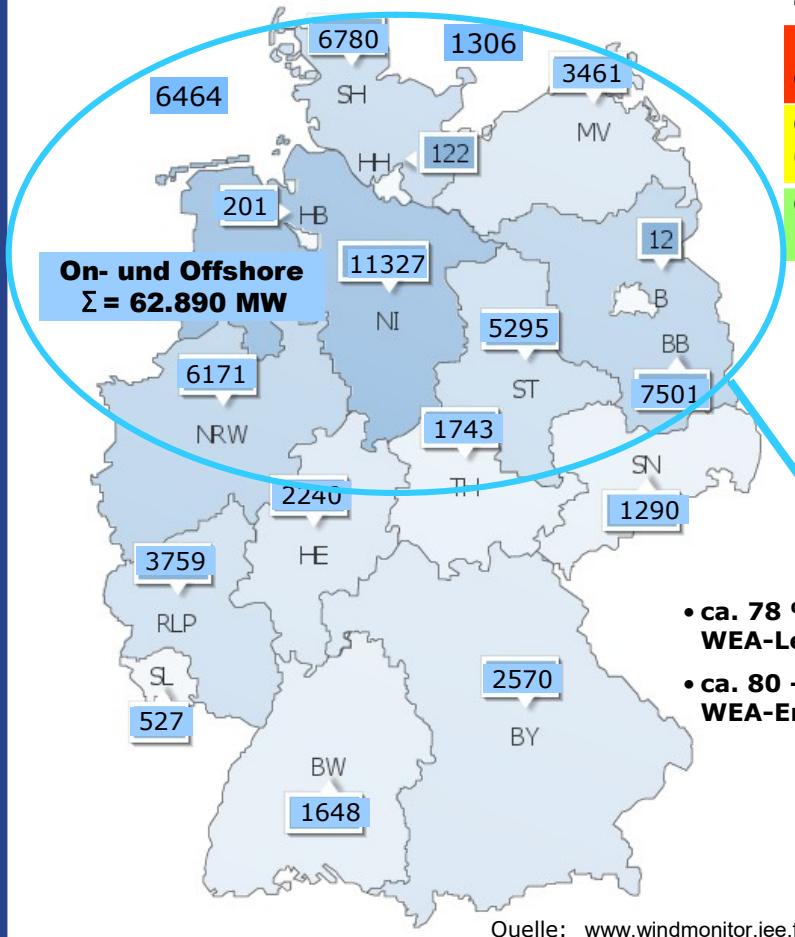


Quelle: Bundesverband Windenergie e. V.

Aufteilung der installierten WEA-Leistung 2020 in Deutschland auf die Bundesländer [MW]

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

Standorteignung für WindEnergieAnlagen (WEA)

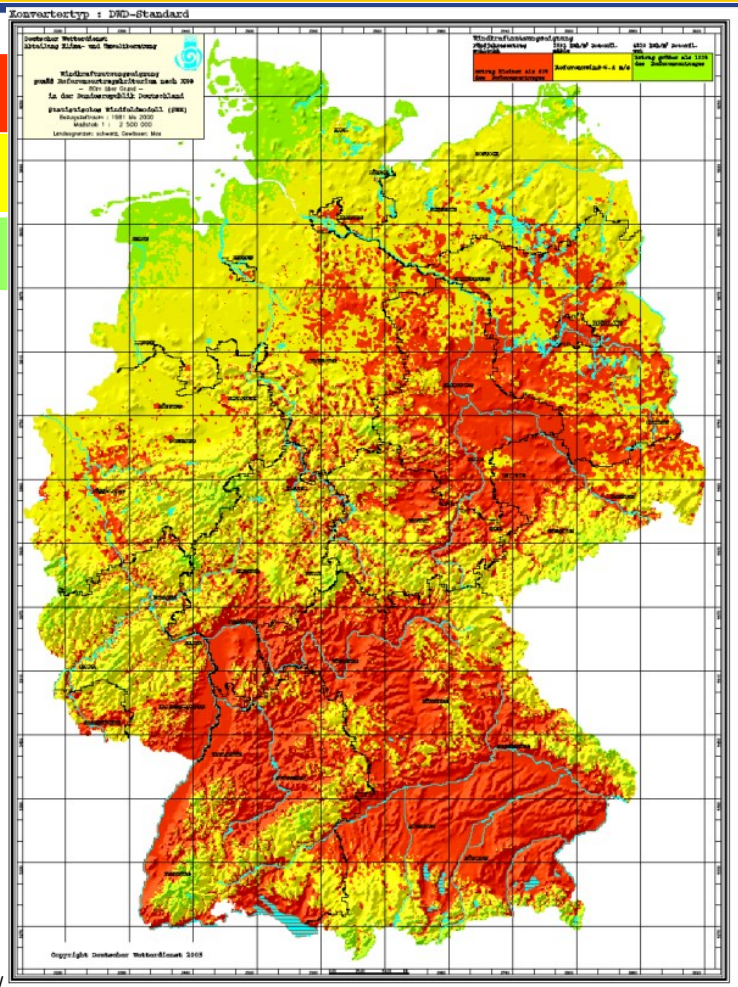


Standorteignung:

Rot: Ertrag < 60 % des Referenzertrags

Gelb: Referenzwind 6,4 m/s 100 %

Grün: Ertrag über 100 %



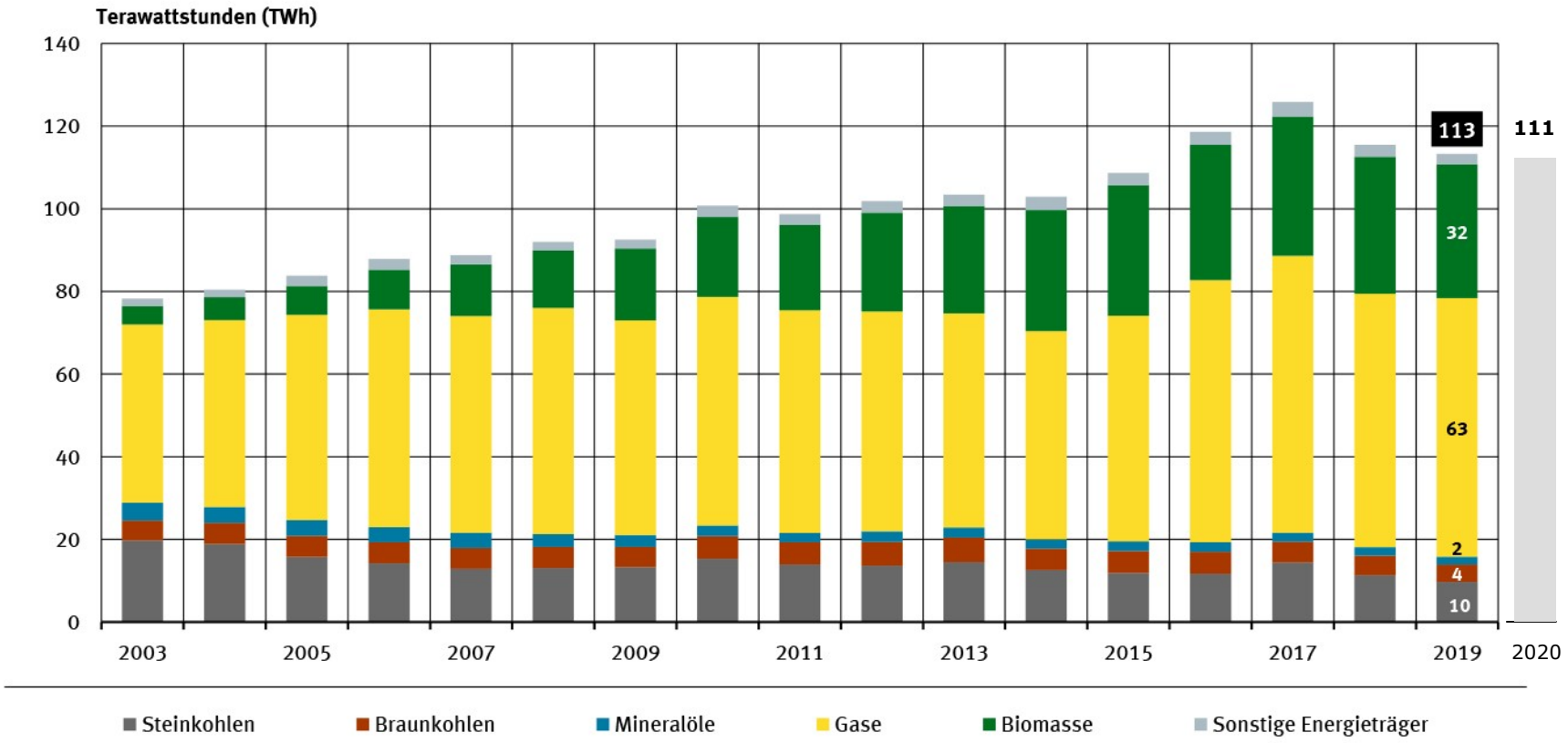
- **ca. 78 % der installierten WEA-Leistung**
- **ca. 80 - 90 % der WEA-Erzeugung**

Quelle: www.windmonitor.iee.fraunhofer.de
ww.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/
Bundesverband Windenergie e. V.
Deutscher Wetterdienst (DWD) und ISET

Entwicklung der Nettostromerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

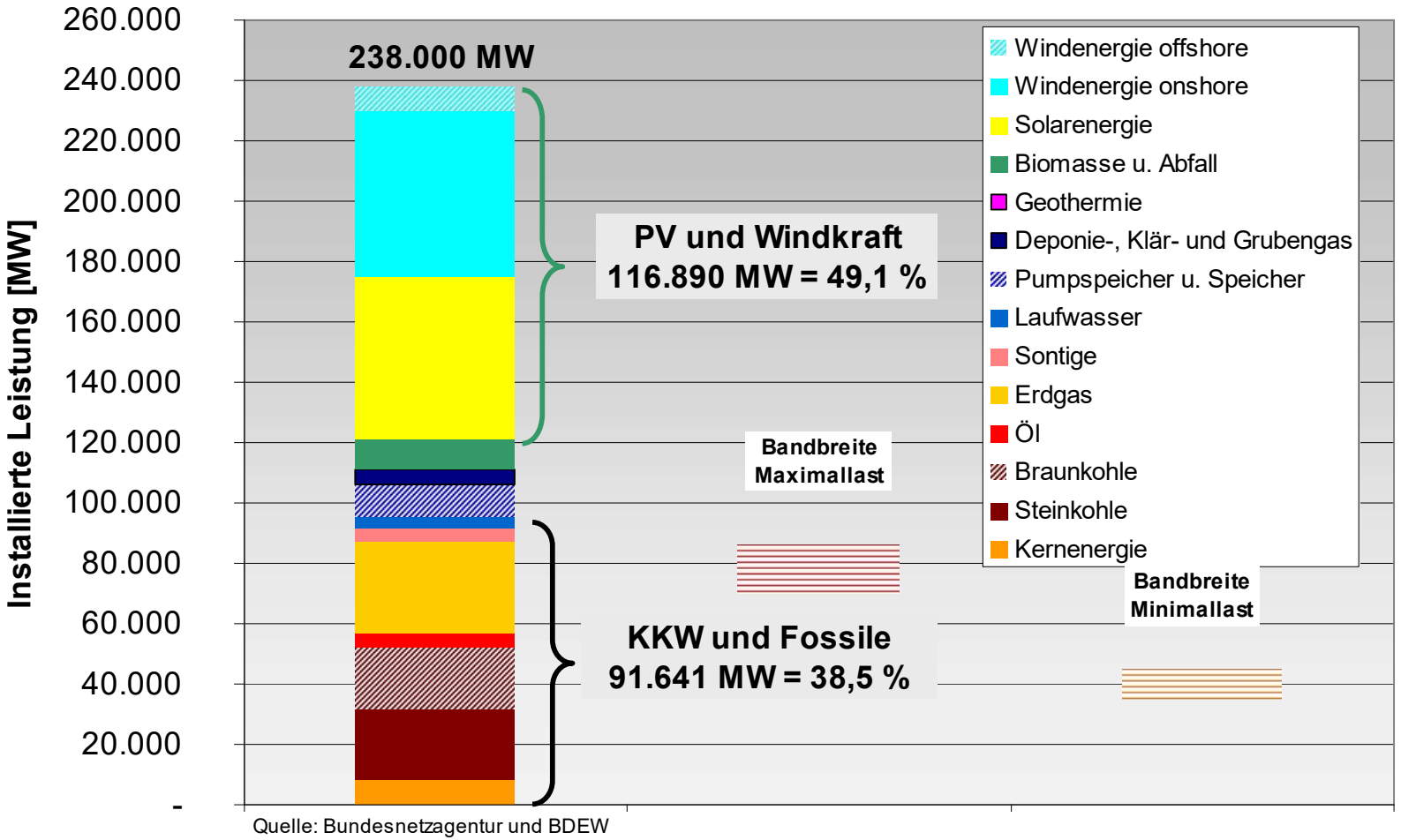
KWK: Nettostromerzeugung nach Energieträgern*



Quelle: Umweltbundesamt auf Basis von Statistischem Bundesamt, Öko-Institut, Umweltbundesamt/AGEE-Stat, Stand: 11/2020

Installierte elektrische Erzeugungsleistung und Bandbreite der Maximal- und Mindestlast in Deutschland 2020

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Bundesnetzagentur und BDEW

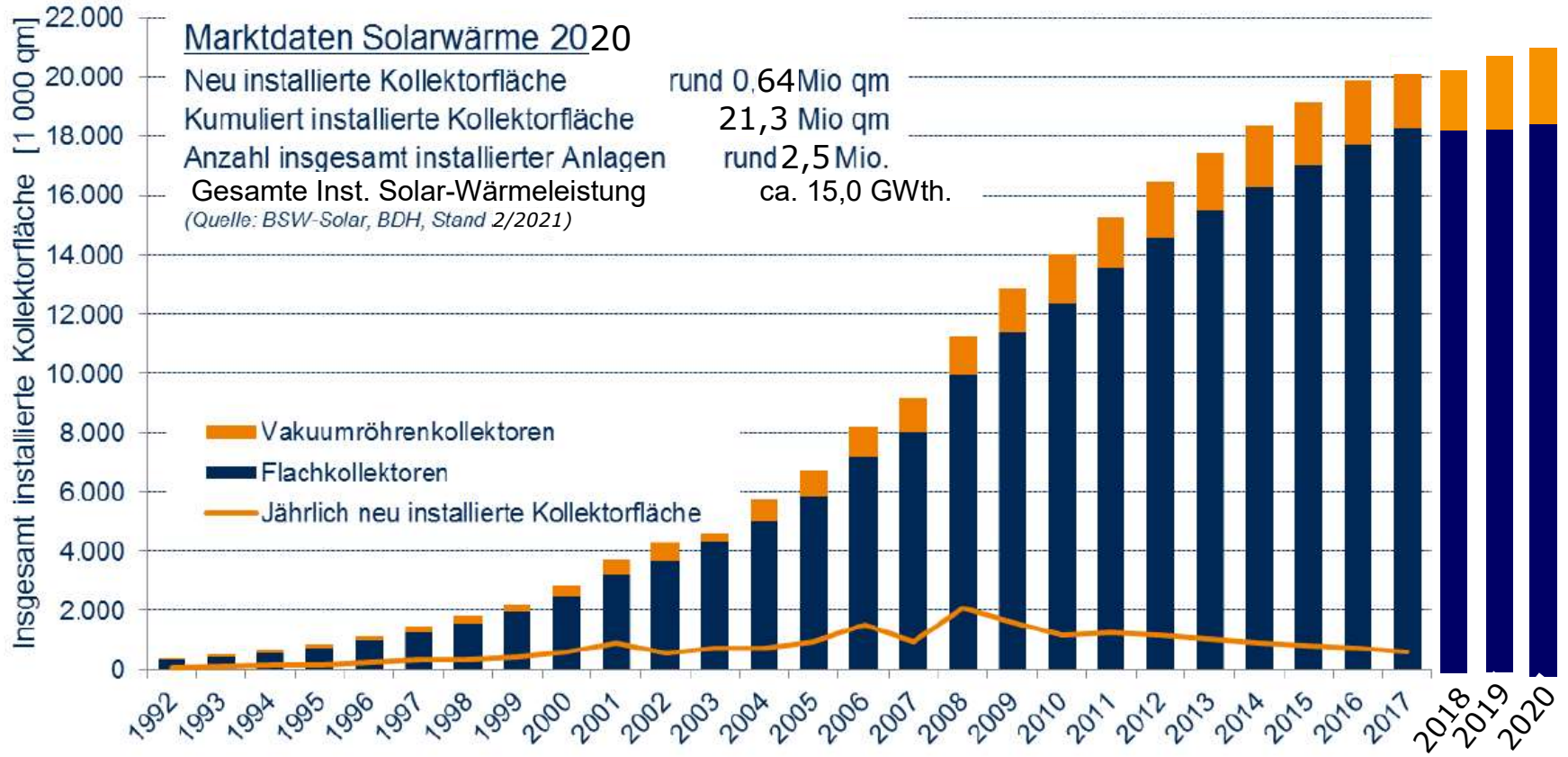
Entwicklung der EEG-Umlage

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

Quelle: Fraunhofer (Fhf) ISE – Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, 21.02.2021
2019 Abrechnung der Übertragungsnetzbetreiber

Installierte Solarthermie-Anlagen in Deutschland

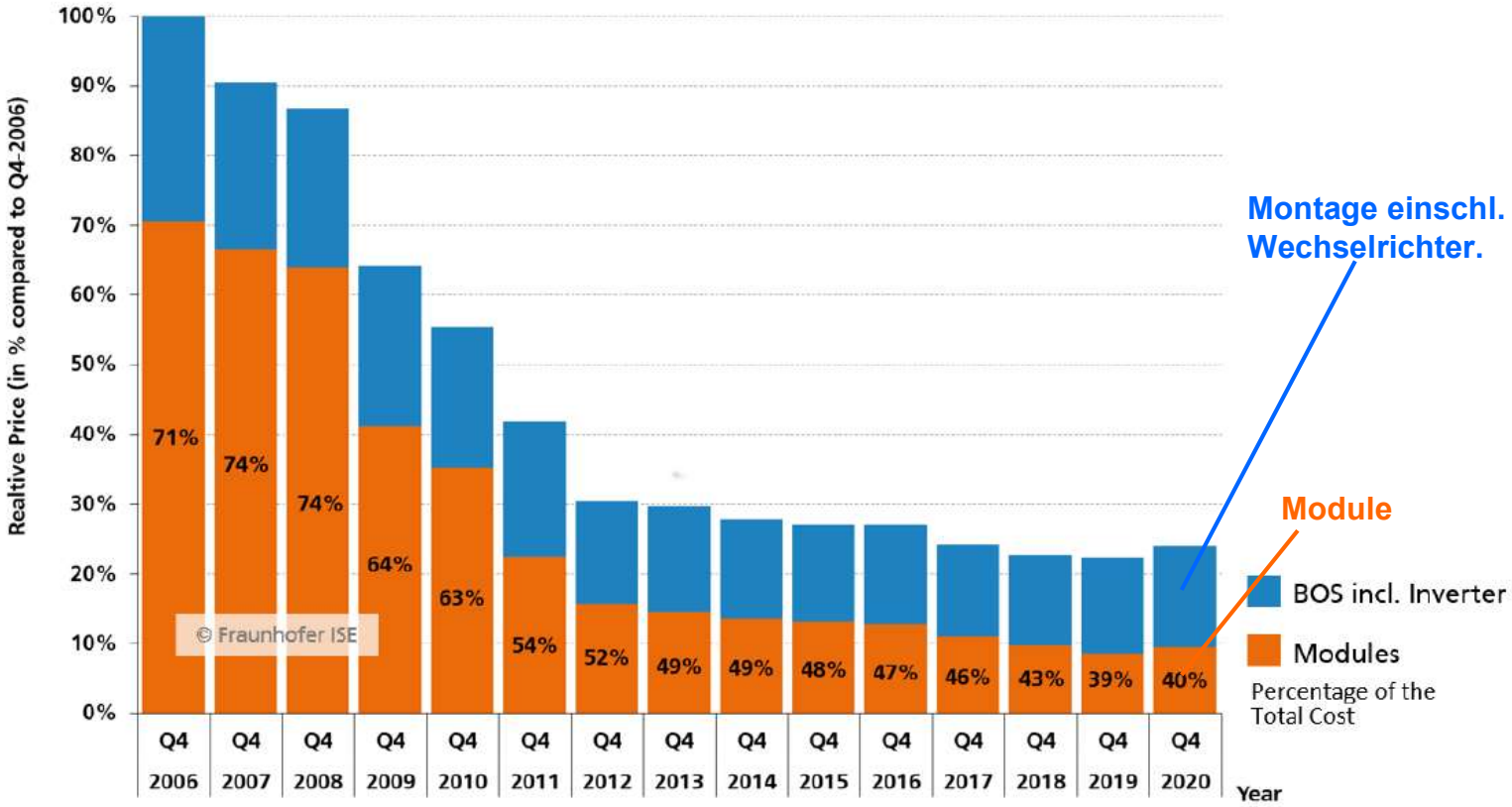
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



gerundete Werte, Abbau von Altanlagen nicht berücksichtigt

Entwicklung der Systempreise (netto) in Deutschland für PV – Aufdachanlagen von 10 – 100 kW

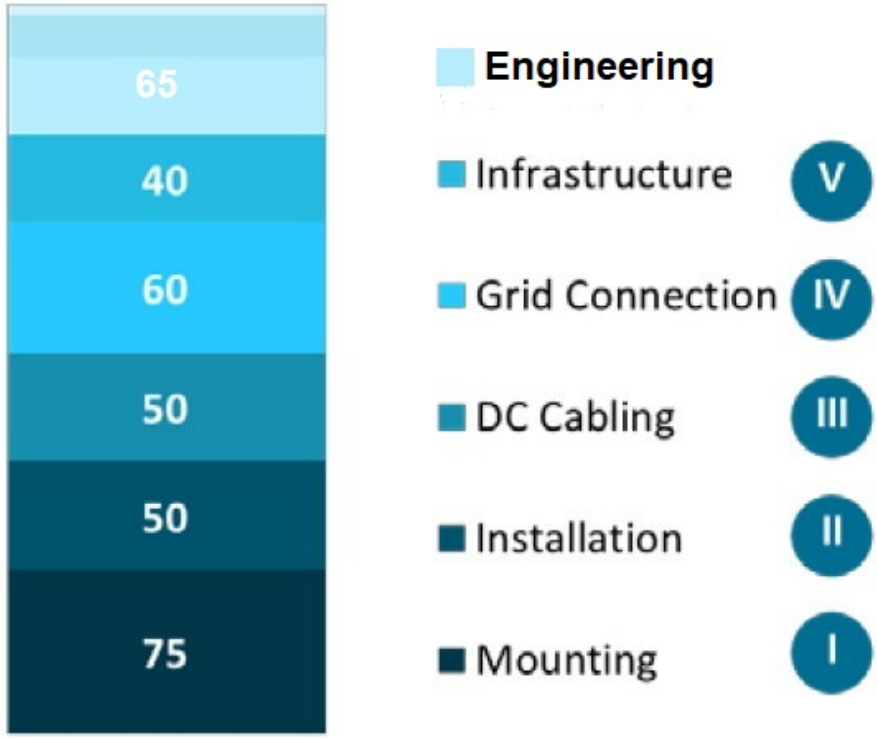
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Fhf ISE – Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, 21.10.2021

Systempreise für PV – Freiflächenanlagen

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



+ 500 bis 600 €/KW für Module Wechselrichter und sonst. Material

Preisentwicklung für PV-Anlagen:

Es ist davon auszugehen, dass die Anlagenpreise voraussichtlich auch in den nächsten fünf Jahren um ca. 3 – 5 % p. a. sinken.

Anlageninvestoren sind dabei gut beraten auf die Qualität der Bauteile und Bauleistungen besonders zu achten.

Quelle: Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft; Photovoltaik Feb 2016

Entwicklung der PV-Modulpreise abhängig von der Marktdurchdringung

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

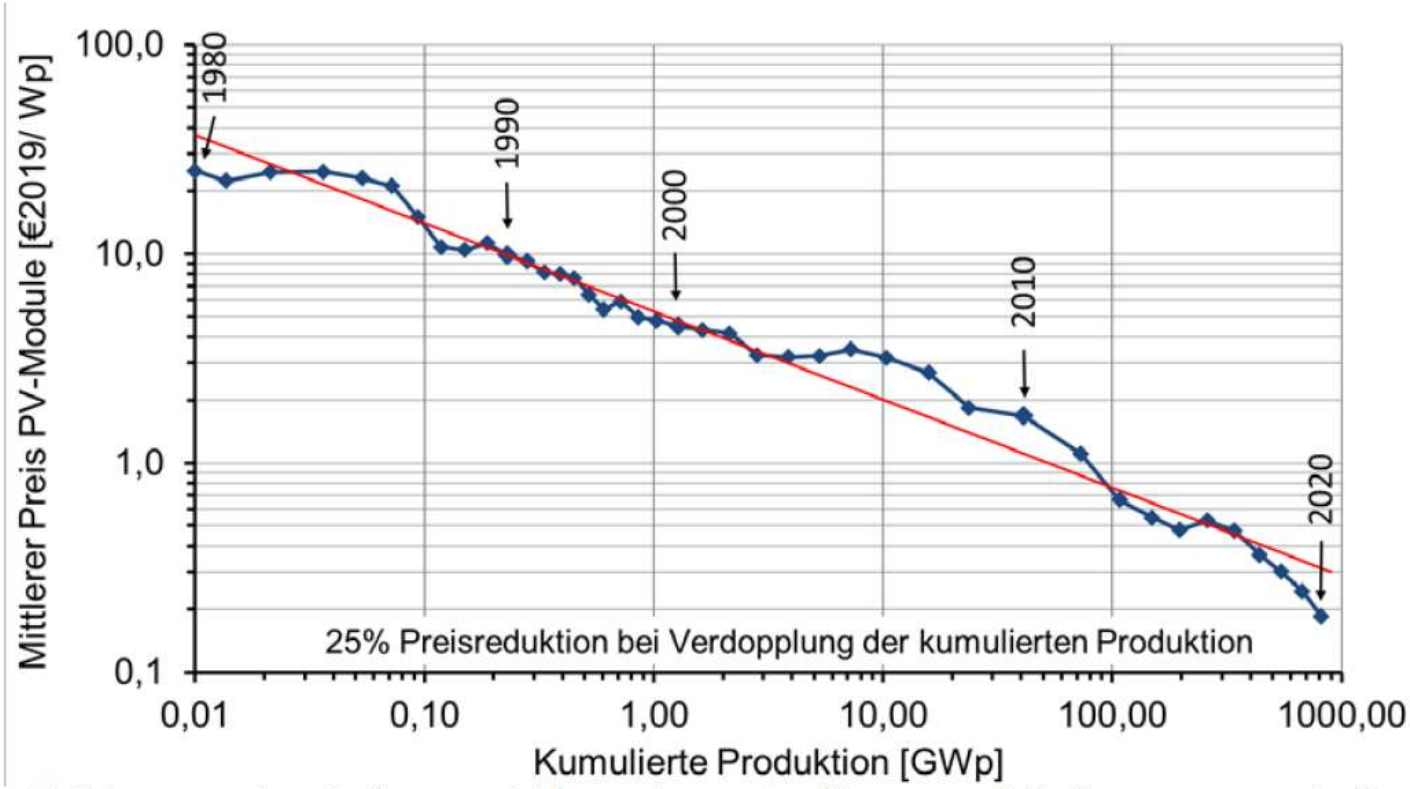
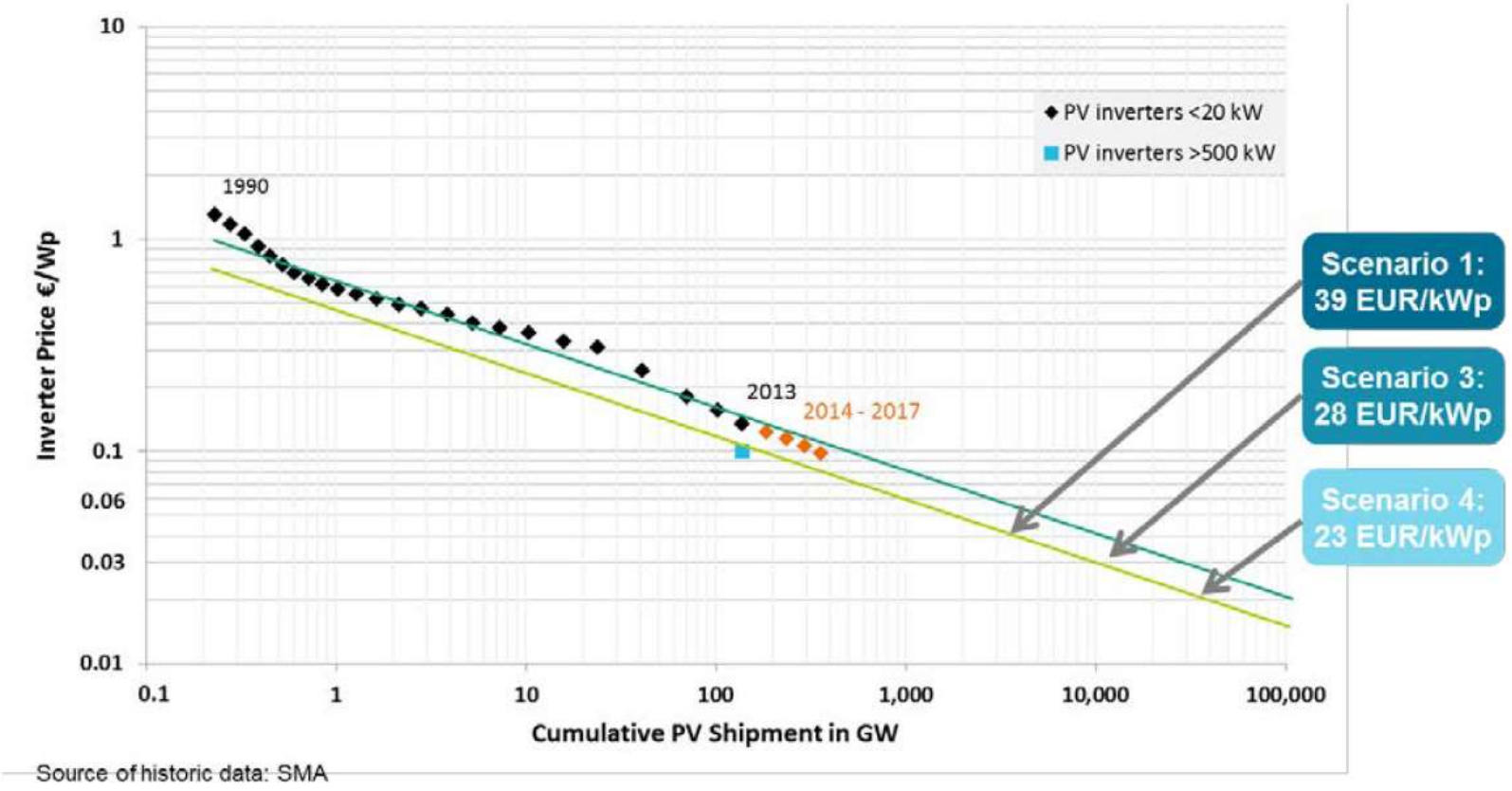


Abbildung 3: Historische Entwicklung der Preise für PV-Module (PSE AG/Fraunhofer ISE, Datenquelle: Strategies Unlimited/Navigant Consulting/EuPD). Die Gerade zeigt den Trend der Preisentwicklung.

Quelle: Fhf ISE – Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, 21.10.2021

Prognose der Inverter Kosten für PV-Anlagen

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

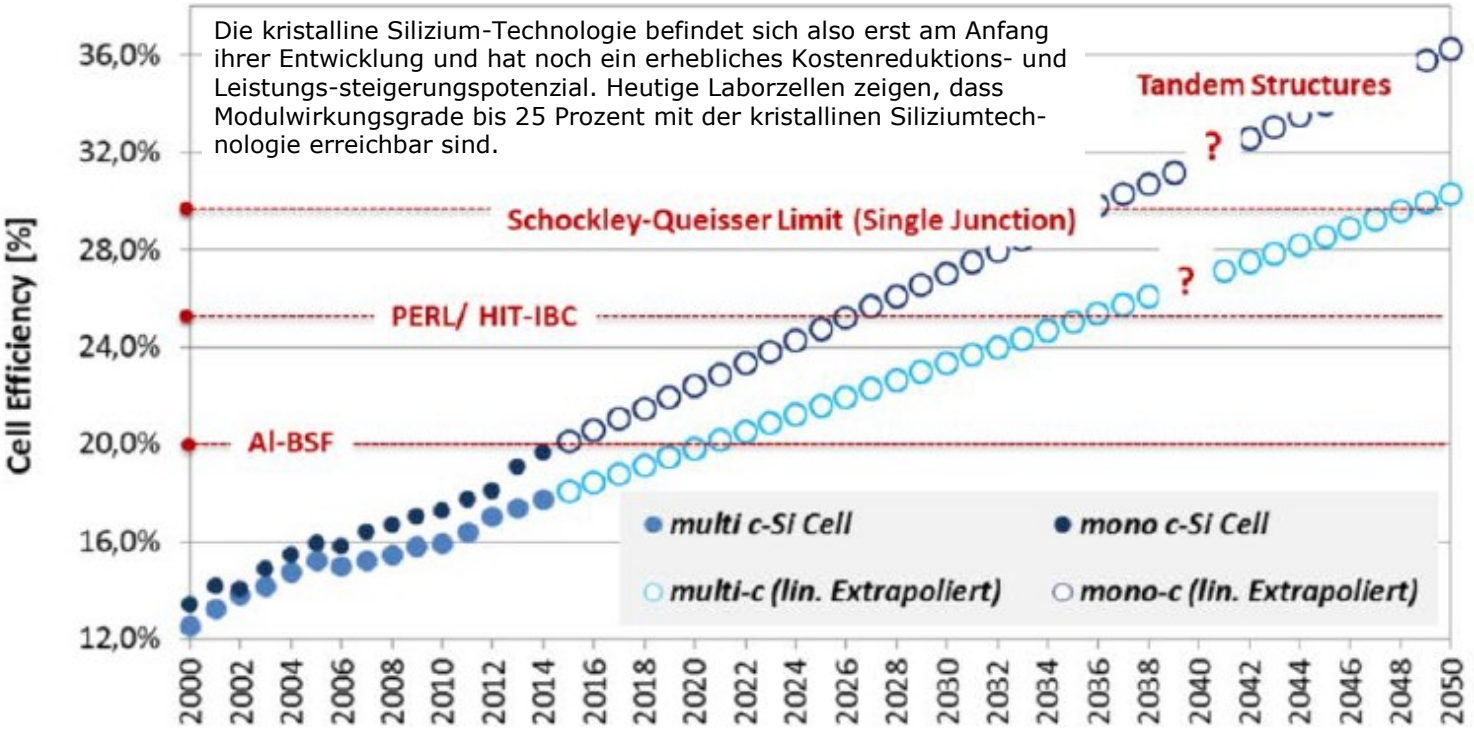


Quelle: Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft; Photovoltaik Feb 2016

Entwicklung des Wirkungsgrads von PV-Modulen

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

Die kristalline Silizium-Technologie befindet sich also erst am Anfang ihrer Entwicklung und hat noch ein erhebliches Kostenreduktions- und Leistungs-steigerungspotenzial. Heutige Laborzellen zeigen, dass Modulwirkungsgrade bis 25 Prozent mit der kristallinen Siliziumtech-nologie erreichbar sind.



AL-BSF:
Aluminium-**B**ack-**S**urface-**F**ield-Techno-logie; heute bei der industriellen Solarzel-lenfertigung etabliert

PERL:
Passivated **E**mitter an **R**ear **L**ocally diffused.

HIT:
Heterojunction with **I**ntrinsic **T**hin layer

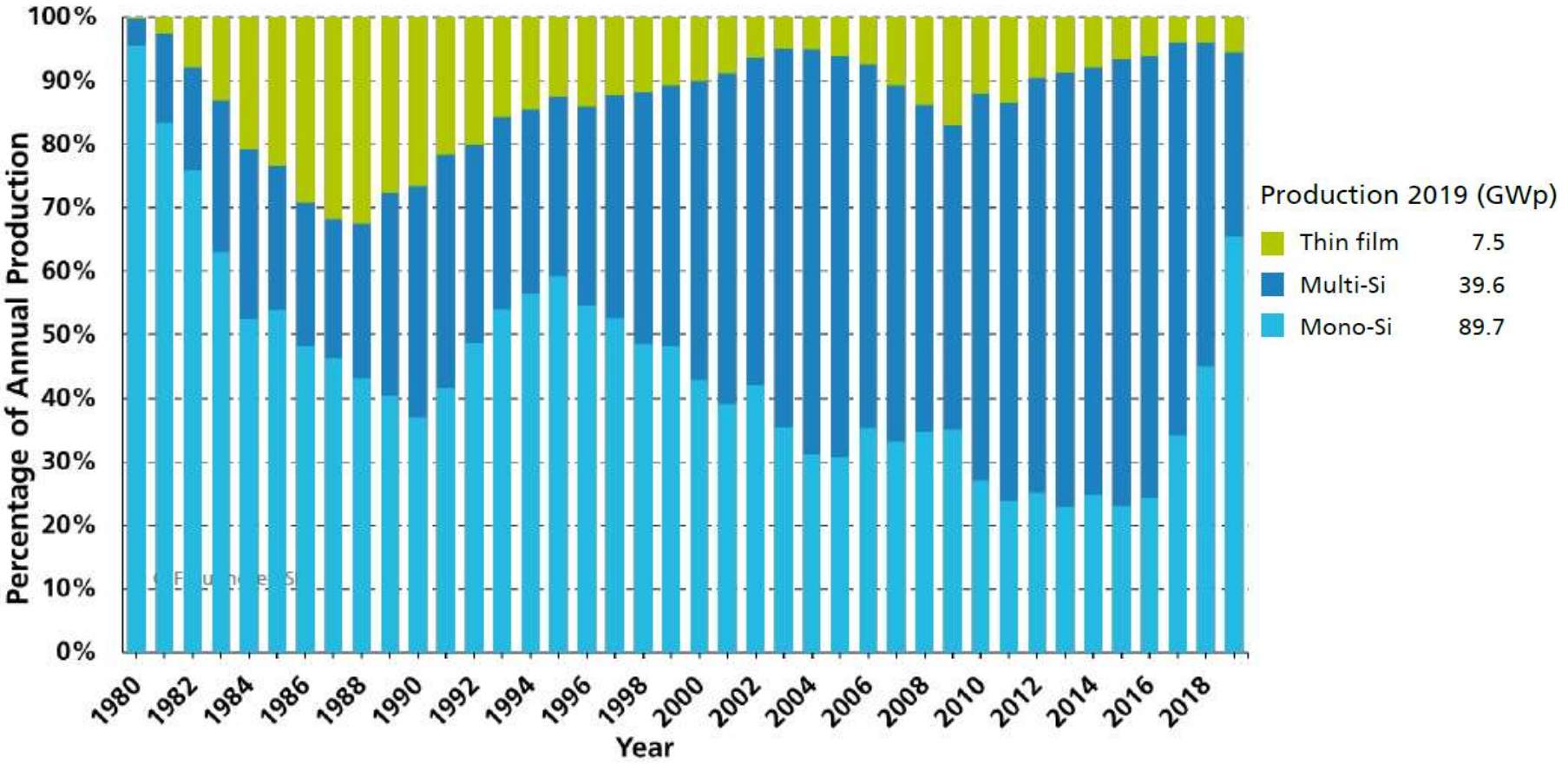
IBC:
Interdigitated **B**ack **C**ontact

Shockley-Queisser-Limit:
Ein Begriff aus der Festkörperphysik. Die von William B. Shockley und Hans-Joachim Queisser (1961) formulierte Grenze beschreibt unter anderem die Begrenzung des Wirkungsgrads von Solarzellen auf Grundlage von Absorptions- und Remissionsprozessen.

Quelle: Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft; Photovoltaik Feb 2016

Entwicklung der Technologie-Anteile in der Photovoltaik

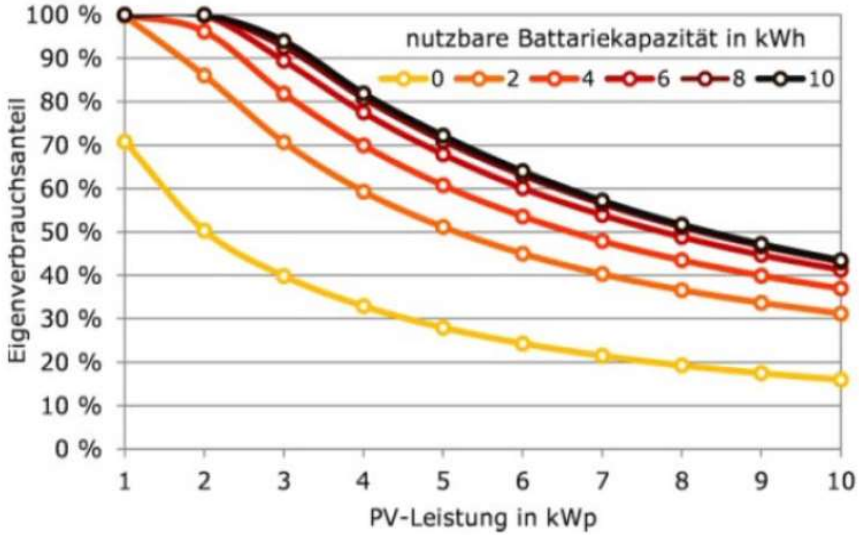
Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Fhf ISE Photovolatics Report 2020; Daten von 2000 – 2009 Navigant; ab 2010 IHS Markit. Graph PSE Projects GmbH 2020

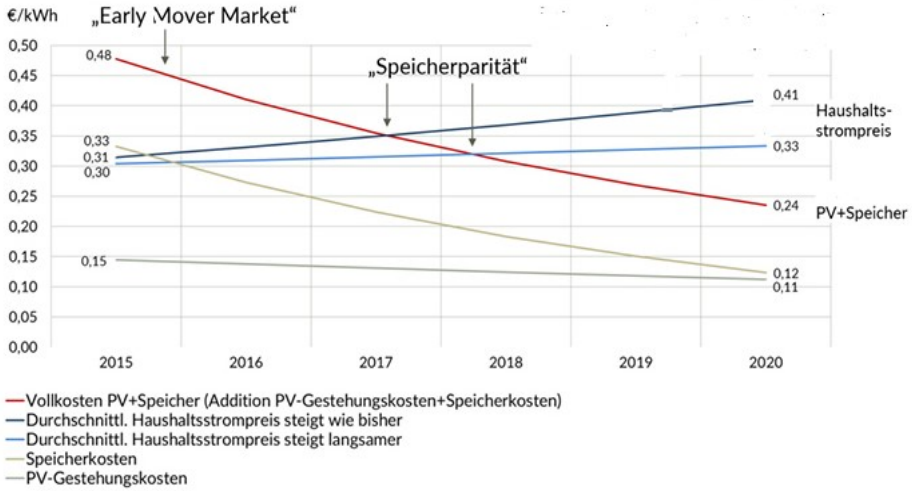
Photovoltaik und Batteriespeicher

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Eigenverbrauchsanteil in Abhängigkeit von Batteriekapazität und Leistung der PV-Anlage für einen Einfamilienhaushalt mit einem Jahresstromverbrauch von 4700 kWh

Quelle: Weniger, Johannes; Tjaden, Tjarko; Quaschning, Volker; (HTW Berlin): Solare Unabhängigkeits-erklärung. In: Photovoltaik 10/2012, S. 50-54.



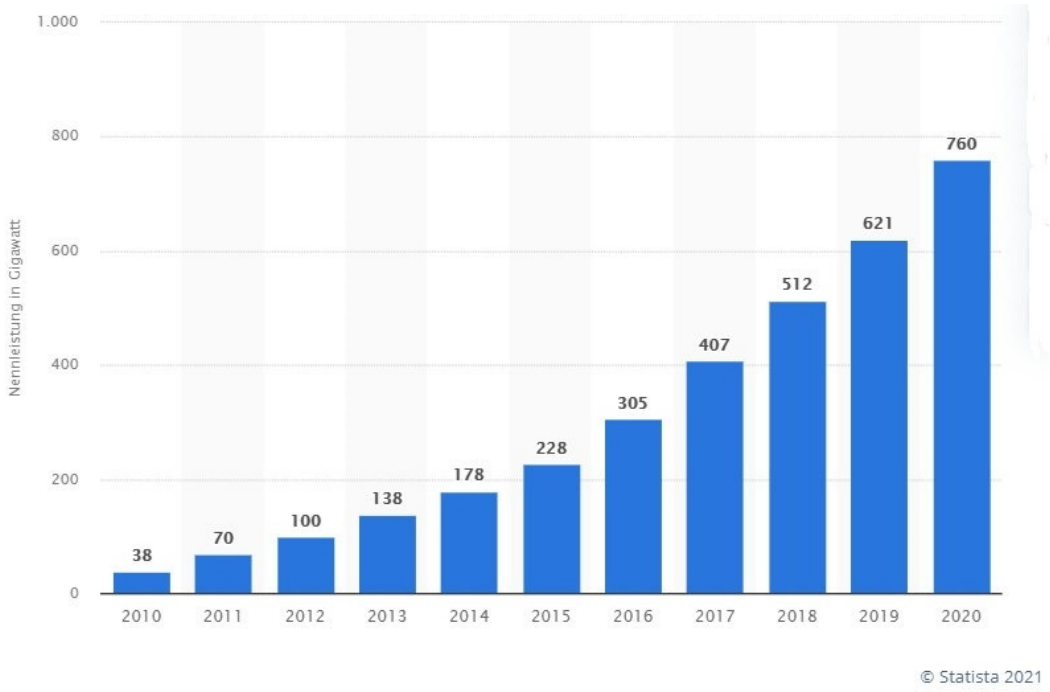
Mögliche Entwicklung der PV-Systeme mit Batteriespeicher.

Z. Zt. liegen bei kleineren PV-Hausanlagen die Speicherpreise bei 1000 – 1200 €/kW.

Bei zu erwartenden sinkenden Preisen sowohl für die PV-Anlagen und Speicher ist in 2018 die Netzparität zu erreichen.

Weltweit installierte PV-Leistung

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

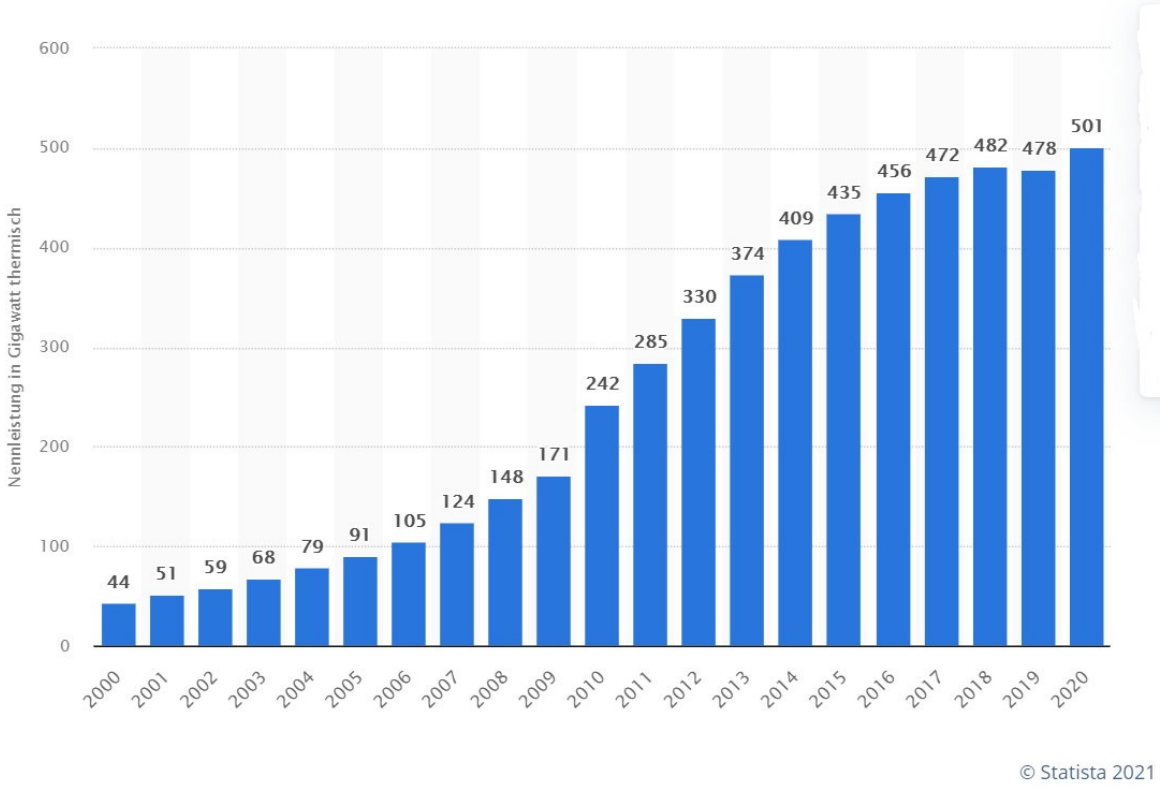


	2020	2018	2015	2014
	[MW]			
PV-Welt	**760.000**	**505.000**	**227.000**	**177.000**
PV-EU 28	**137.500**	**111.000**	**94.568**	**86.674**
China	253.400	175.000	43.500	28.300
USA	95.500	64.000	25.600	18.300
Japan	71.400	48.000	34.400	23.400
Deutschland	54.000	46.000	39.700	38.300
Indien	47.500			
Italien	21.700	19.400	18.900	18.600
Jährlich installierte Leistung				
Deutschland	4.900	2.950	1.460	1.900
weltweit	139.000	100.000	50.600	40.000

Quelle: Statista, PV-Magazin 15.12.2020

Weltweit installierte Solarthermie

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

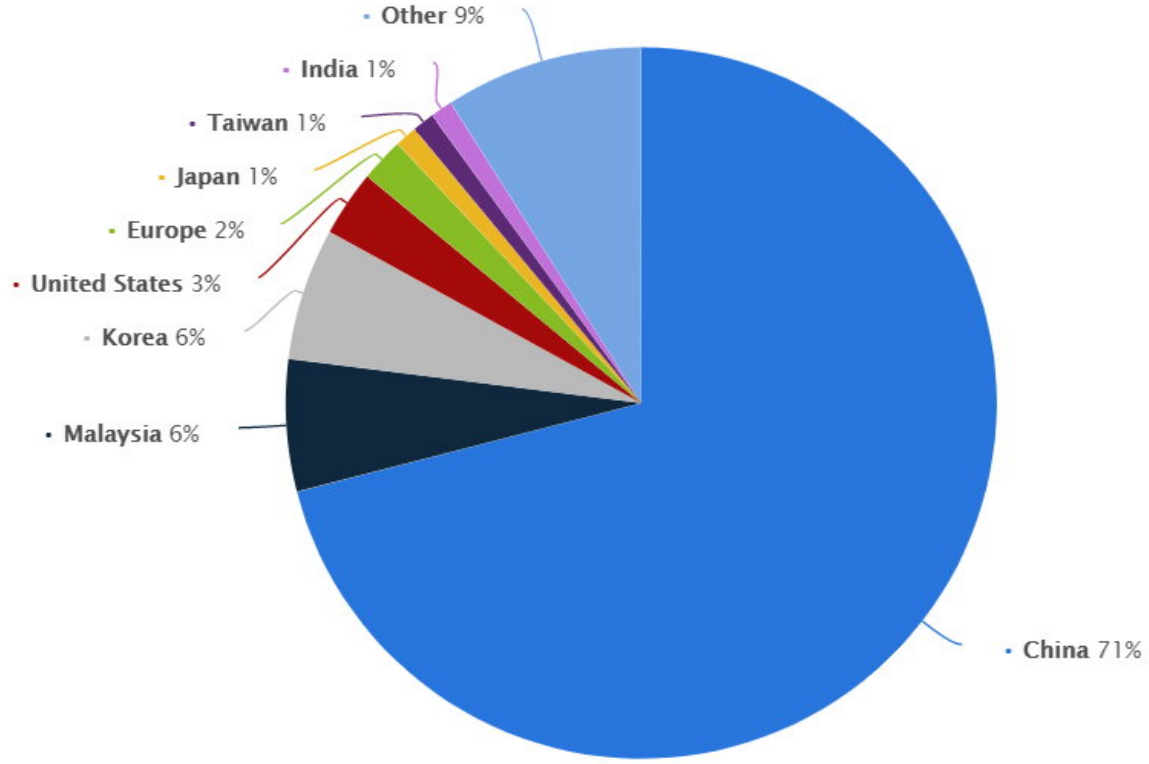


	%	2019 MWth
Solarthermie - Welt		**479.000**
Solarthermie - EU	**12,3**	**58.900**
China	72,3	346.500
USA und Canada	4,0	19.100
Deutschland	3,1	14.800
Türkei	3,5	16.300
Lateinamerika	3,4	16.300
Asien ohne China	3,4	16.100
MENA-Region Israel, Jordanien, Marokko, Palästina, Tunesien	1,5	7.1850

Quelle: IAE; Solar Heat Worldwide Edition 2021

Aufteilung der PV-Modulproduktion 2019

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: Statista 2021

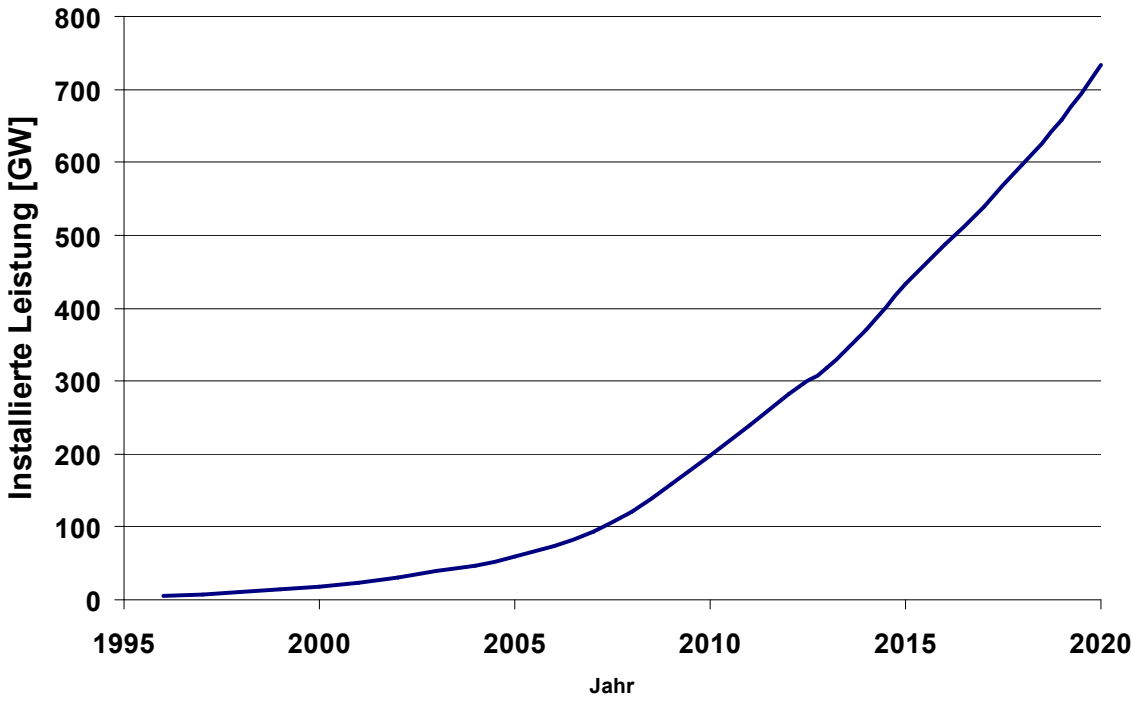
Weltweit ca. 130 GW/a

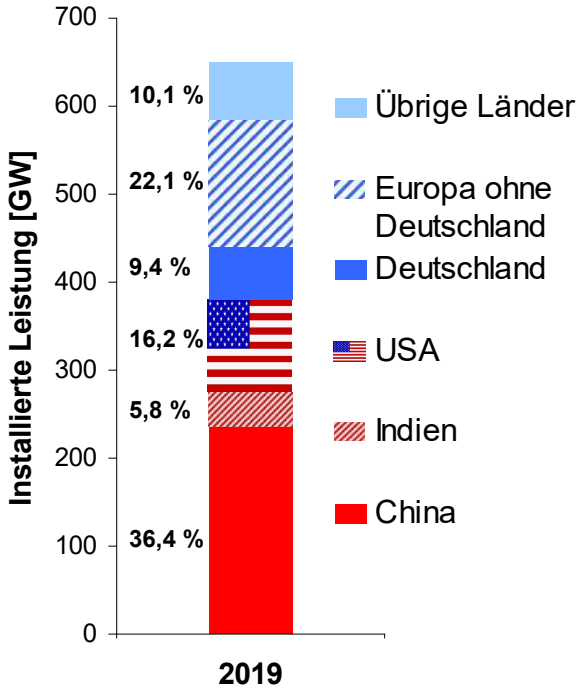
Asien:	ca.	86,0 %
Europa	ca.	2,0 %
Amerika:	ca.	4,0 %
Andere:	ca.	9,0 %

7 Modulhersteller aus China produzieren ca. 60 % des Markts.

Weltweit installierte Leistung der Windenergie 2019 bzw. 2020

Solarenergieförderverein Bayern e. V.

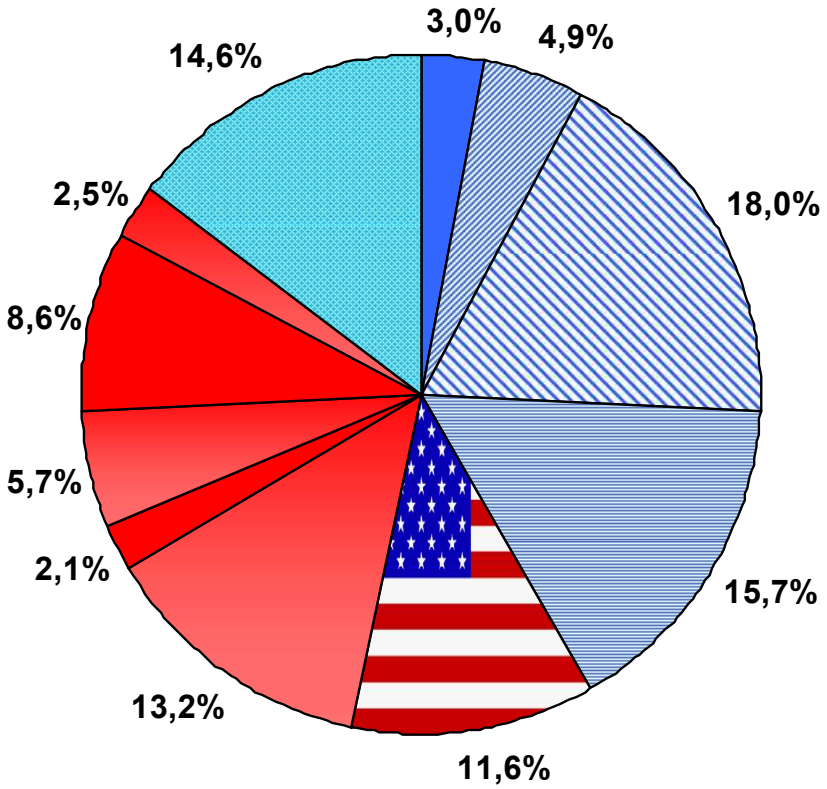




Quelle: Global Wind Energy Council

Weltweite Herstelleraufteilung der in 2019 installierten Leistung von Windkraftanlagen

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Gesamte installierte Leistung ca. 61,0 GW

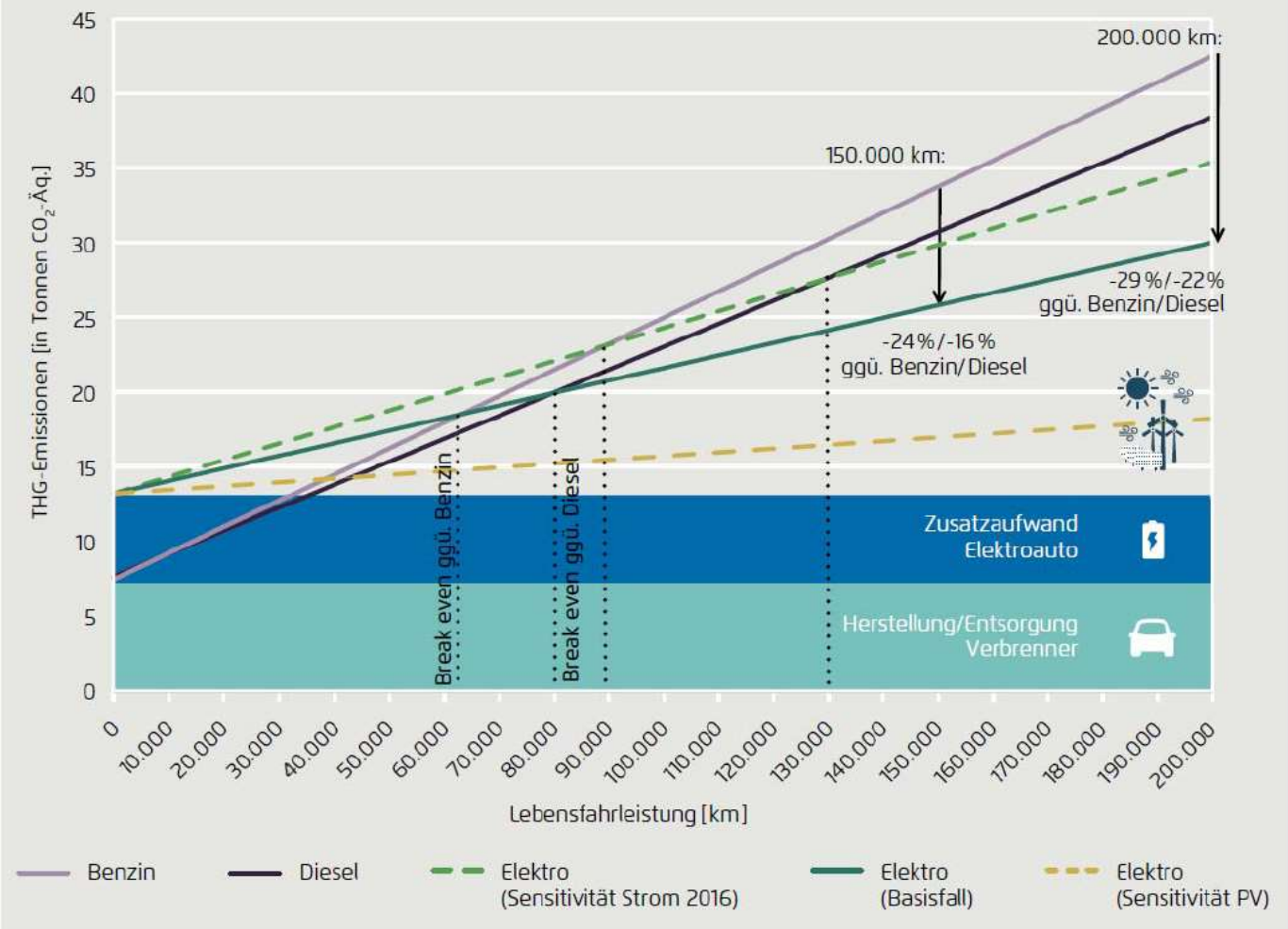
- Enercon
- Nordix Acconia
- Vestas Dänemark
- Gamesa Spanien
- GeWind USA
- Goldwind China
- Dongfang
- Ming Yang China
- Envision China
- Windey China
- Andere

Deutschland	**7,9 %**
Europa	**41,6 %**
China	**32,1 %**
Übrige	**26,2 %**

Quelle: Statistisches Bundesamt u. eigen Recherche, www.windbranche.de
Global Wind Energy Council (GWEC)

Treibhausgasentwicklung von reinen Stadtfahrzeugen der Kompaktklasse abhängig von der Fahrleistung

Solarenergieförderverein Bayern e. V.



Quelle: AGORA2; Fhf ISE – Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, 21.02.2021