Angewandte Solar-Expertise

Applied Solar Expertise

Die weltweite Energieversorgung mit 100% Erneuerbaren Energien

HTWG Konstanz

Konstanz, 27. Februar 2015

Dr. Winfried Hoffmann – ASE

Angewandte Solar-Expertise

Applied Solar Expertise

Dr. Winfried Hoffmann

Mitglied des Aufsichtsrates der SMA Solar Technology AG

Vorsitzender des Aufsichtsrates der Solarfabrik AG

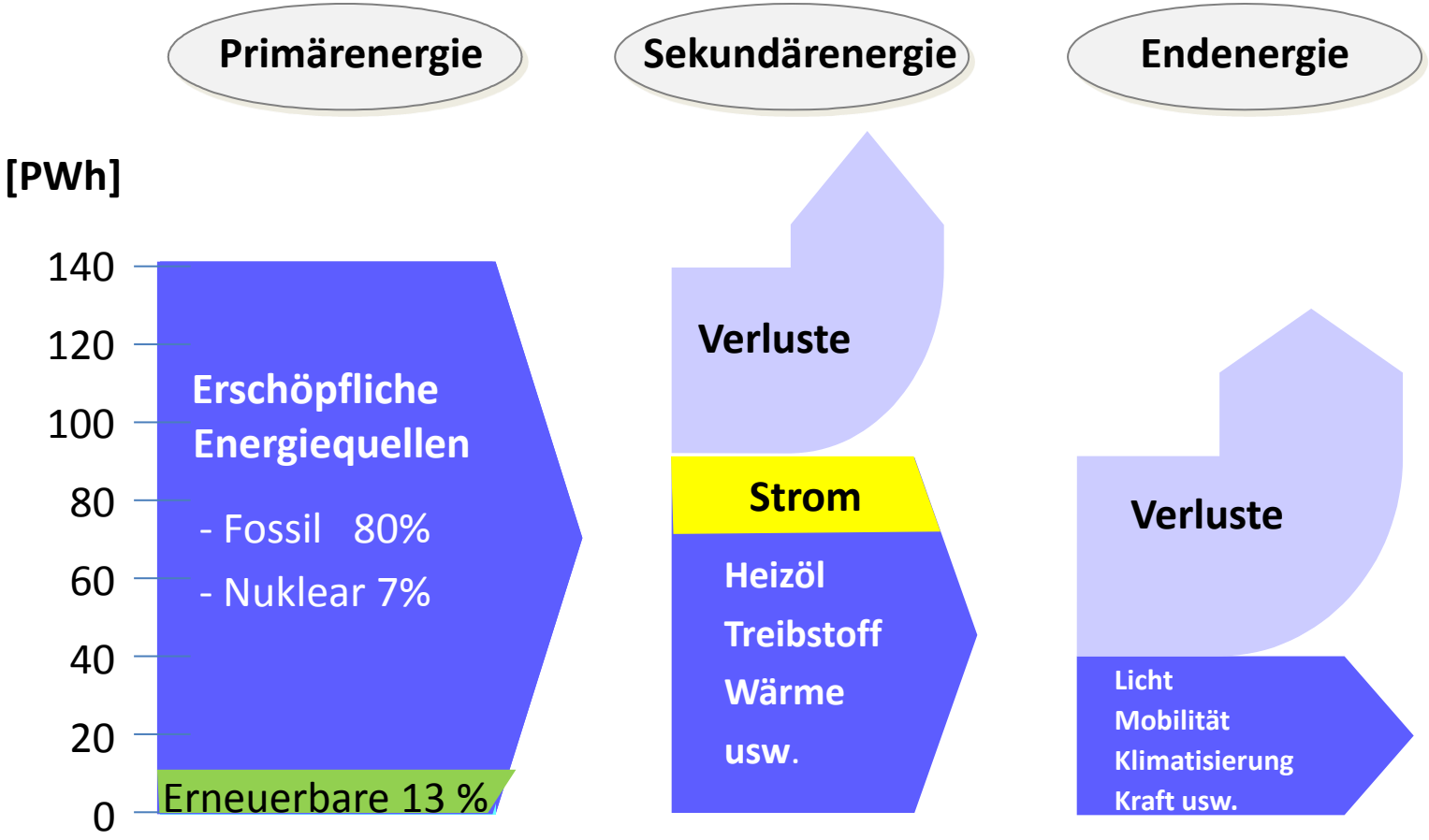
Mitglied des Aufsichtsrates bei ISFH

Mitglied im Kuratorium bei FhG-ISE, ZSW und NEXT Institut

Gliederung

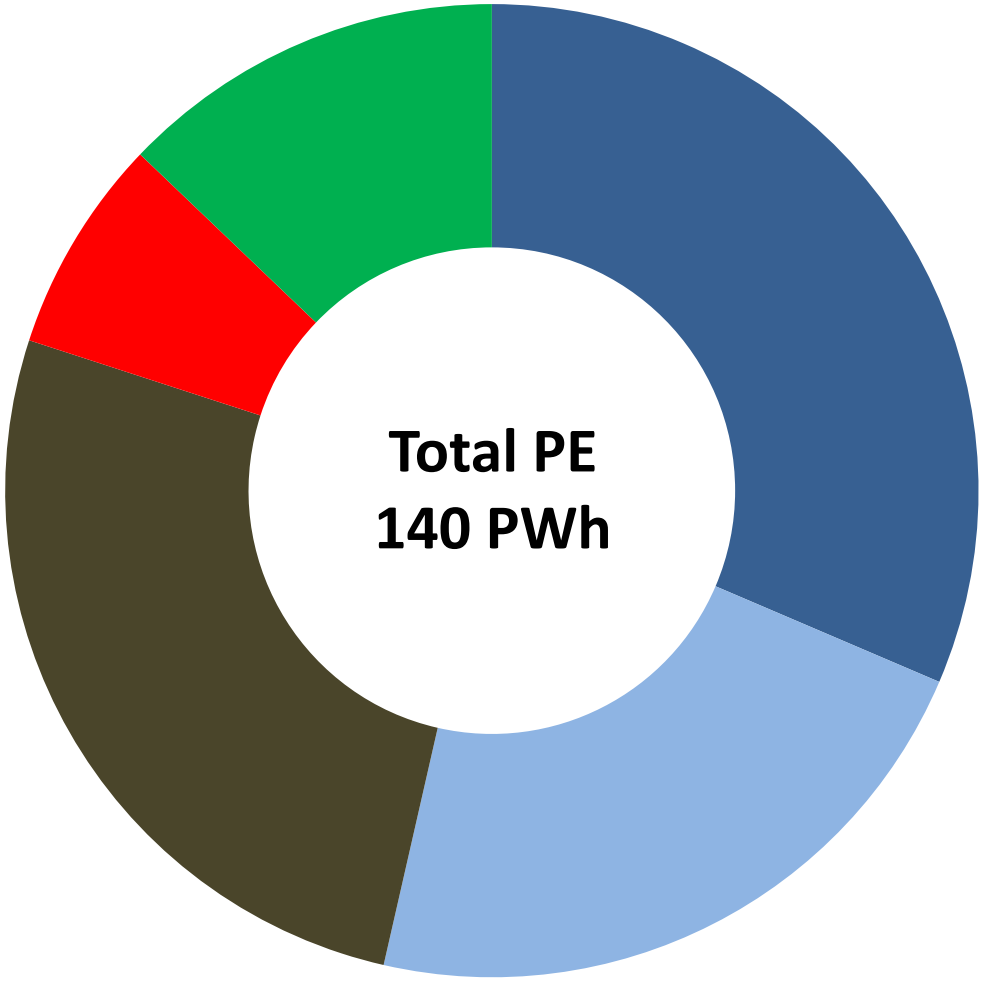
- Weltweiter Energieverbrauch heute
- Energieeffizienzmaßnahmen
- Zukünftige Weltbevölkerung und fairer Energiebedarf
- Die wichtigsten Erneuerbaren Energietechnologien: Wind, Wasser, Bioenergie, Solarthermie (Wärme und Strom), Photovoltaik
- Historisches und künftiges Wachstum PV Markt, Preis-entwicklung, Preis-Erfahrungs-Kurven, Speicherung)
- „Nachhaltiges“ Portfolio der Erneuerbaren Energien
- Zukünftige Versorgung mit 100% EE

Primär-, Sekundär- und Endenergie heute (PE:SE:EndE = 3,5 : 2,3 : 1 ~ 3:2:1)



Source: IEA, eigene Daten

Primärenergieträger 2010



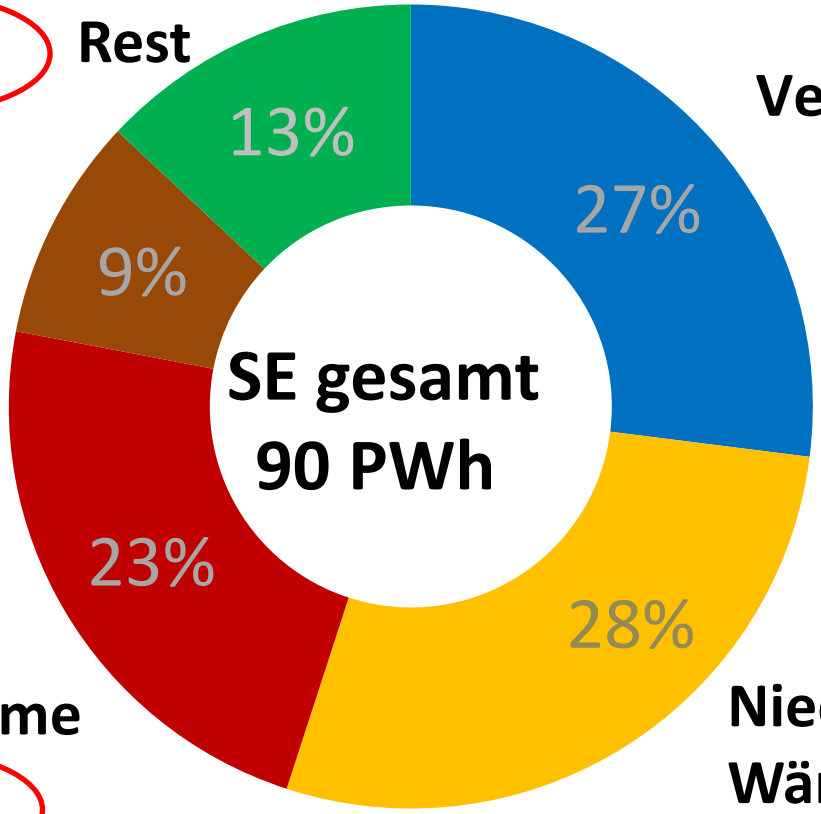
- Öl ~1/4
- Gas ~1/4
- Kohle ~1/4
- Kernenergie
- Erneuerbare

~1/4

Source: IEA

Verbrauch der SE in den Energie-Sektoren

Strom ~22%



Strom Rest ~1/4

Verkehr ~1/4

Strom für Industrie

Industrie Prozesswärme ~1/4

Niedertemperatur-Wärme (i.w. Heizung) ~1/4

Source: IEA

Primärenergie-Verbrauch heute

Situation heute (vereinfacht):

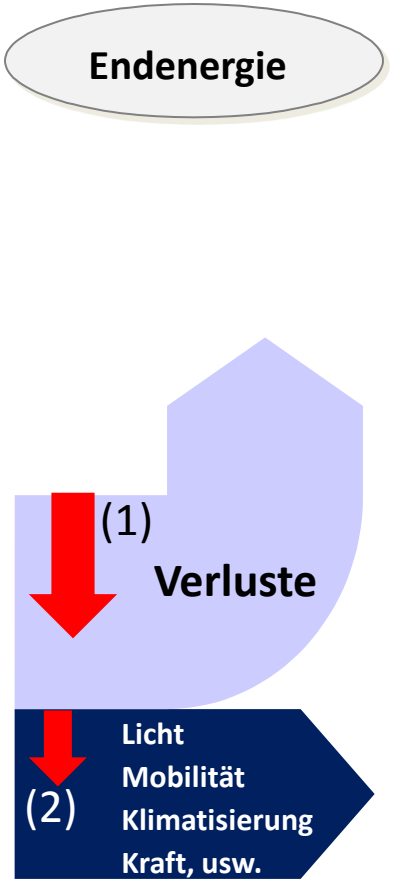
- ¼ der Weltbevölkerung (~1,5 Mrd)
  verbrauchen ¾ der Primärenergie (~105 PWh)
  →heutige Ungerechtigkeit: ¼ der PE für ¾ der Menschheit!

- Der Lebensstandard in der „industrialisierten Welt“ bedeutet **heute ~70 PWh pro 1 Mrd Menschen („HQ=High Quality“)**

- Eine analoge Betrachtung ergibt für die **SE ~45 PWh pro 1 Mrd Menschen für den HQ Lebensstandard**

Source: Eigene Überlegungen

Erniedrigung der Endenergie

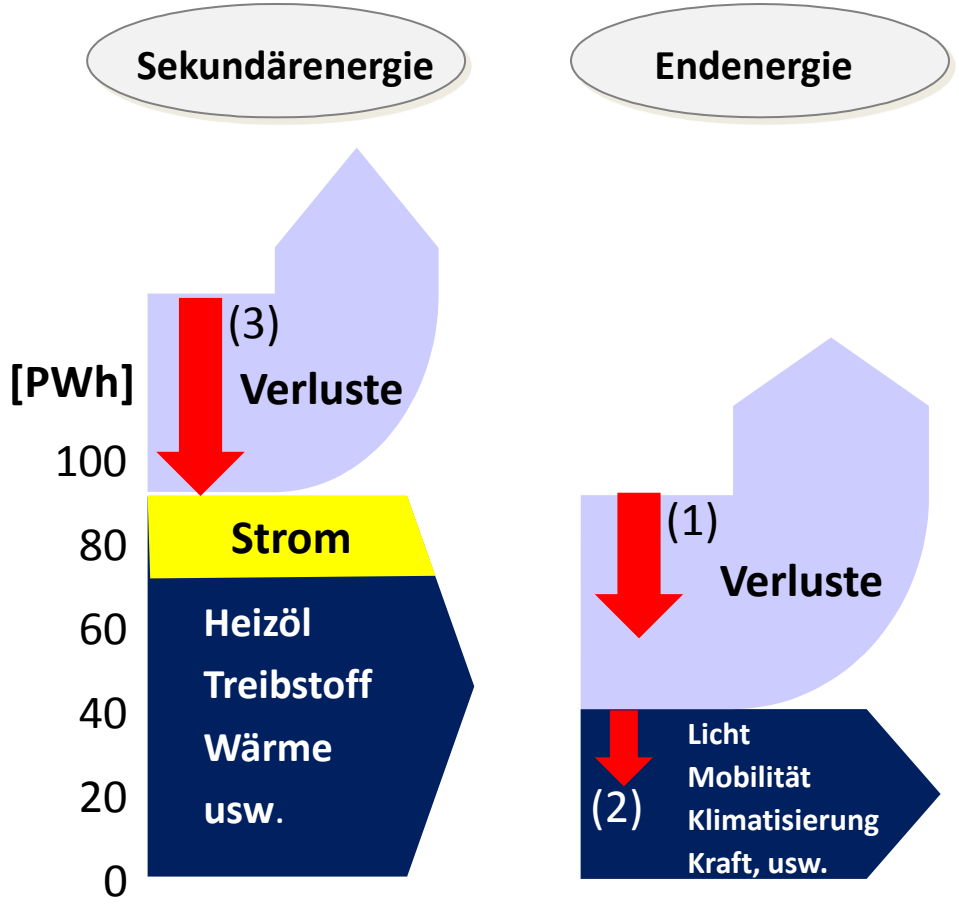


1. **Energieeffiziente Geräte (z.B. (O)LED, E-Fahrzeuge)**

2. **Einsparung von Endenergie (z.B. Isolierung von Häusern, intelligente Mobilität in künftigen „smart-cities“ u.v.m.)**

Source: Eigene Abschätzung

Erniedrigung der Endenergie & Einsatz Erneuerbarer Energien



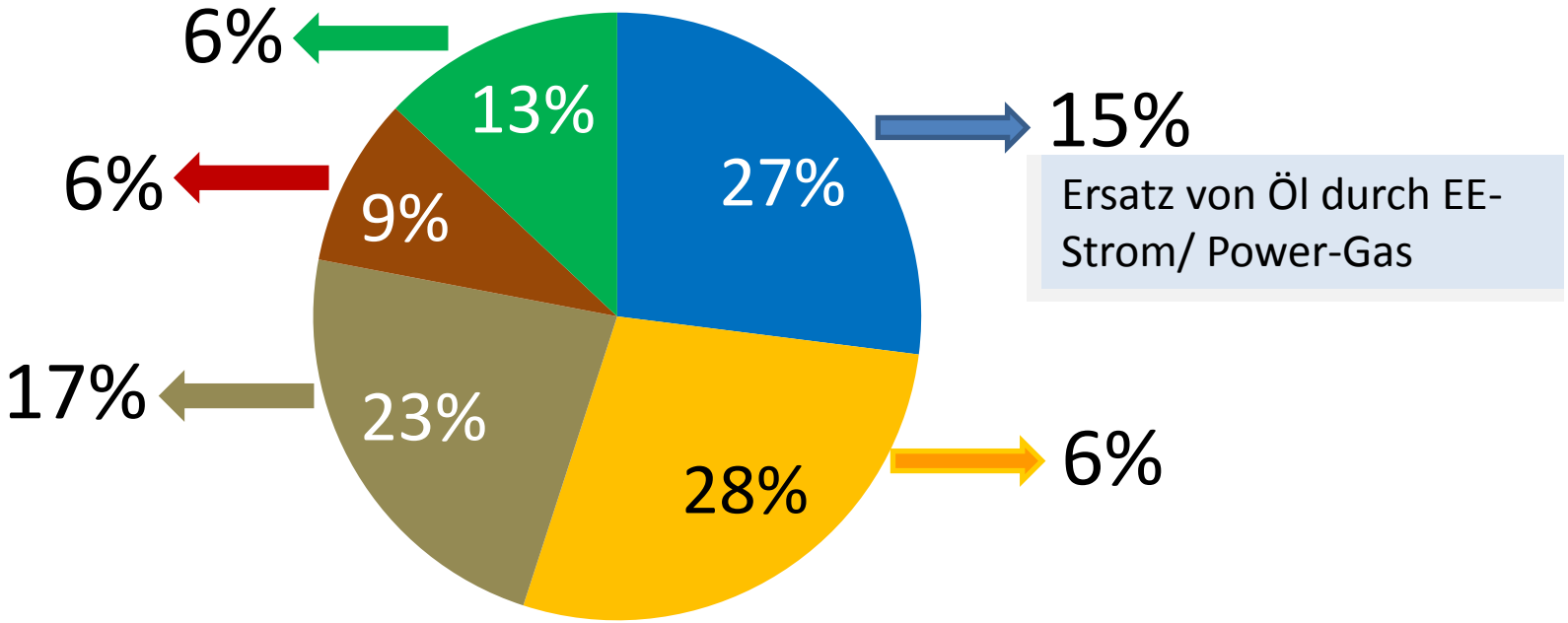
Source: Eigene Abschätzung

1. Energieeffiziente Geräte (z.B. (O)LED, E-Fahrzeuge)
2. Einsparung von Endenergie (z.B. Isolierung von Häusern)
3. **Einsatz Erneuerbarer Energien (Umwandlungs-verluste werden nicht berücksichtigt: PE = SE)**

Einfluss von „milden“ Effizienz-maßnahmen auf die heutige SE

Verkehr
Strom Industrie
NT-Wärme
Strom Rest
Industrie

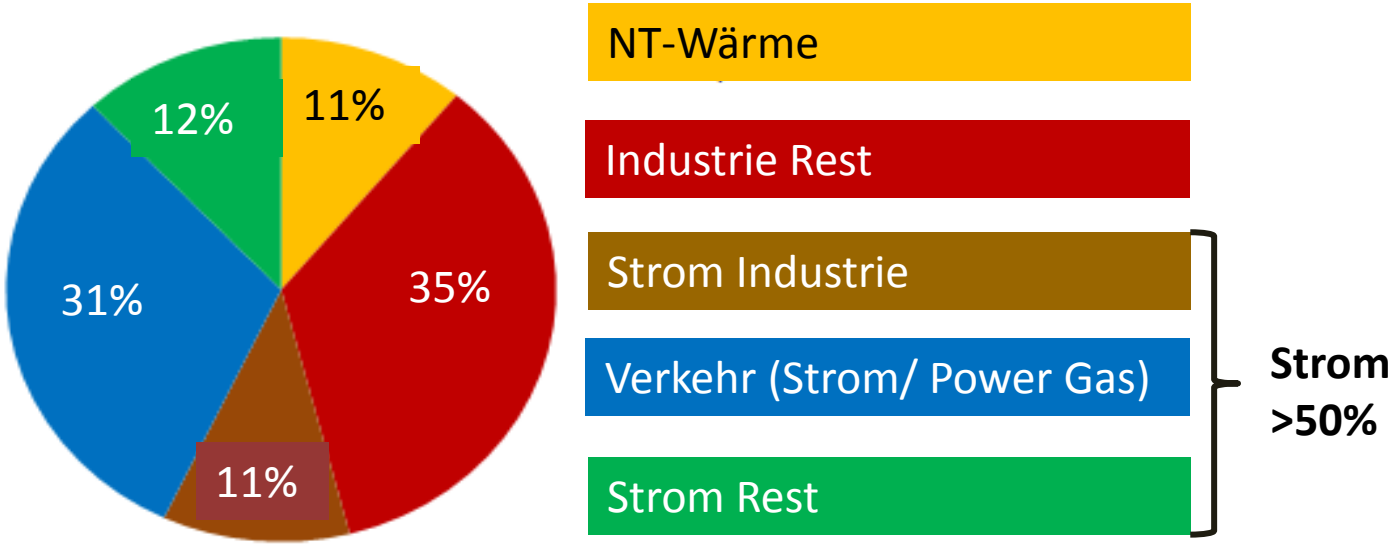
Total 90 PWh → 45 PWh



Source: Eigene Überlegungen

Heutige SE mit „milden“ Effizienzmaßnahmen

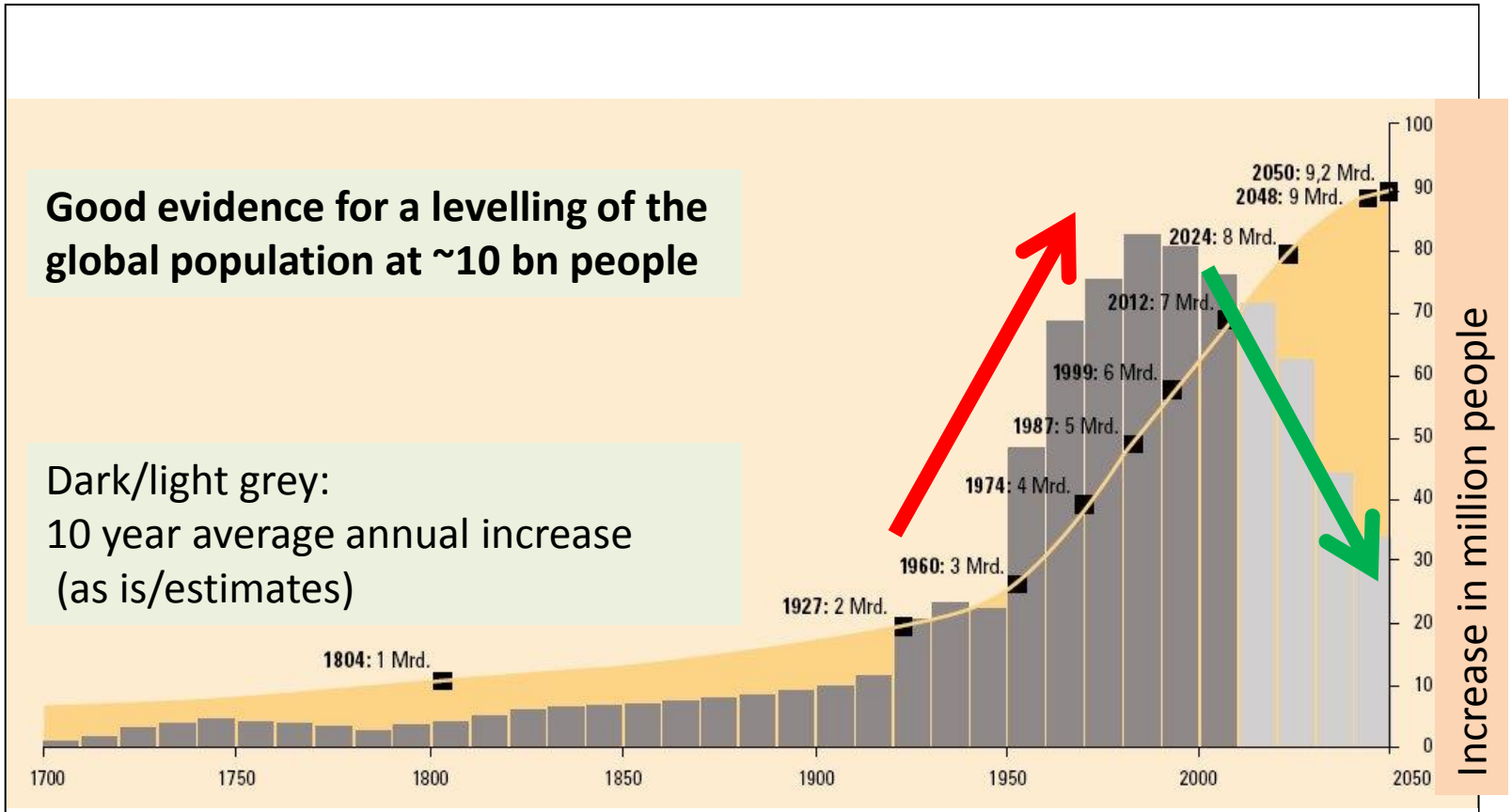
Heutige SE ~ 90 PWh (davon Strom nur 22%) →
45 PWh mit „milden“ Effizienzmaßnahmen



Je intelligenter, sparsamer und mit mehr Erneuerbaren die nötige Sekundär-energie bereit gestellt wird, desto **höher** ist der relative Stromanteil!

Source: Eigene Überlegungen

History and future estimate of global population



Source: UN, World Population Prospects: The 2006 revision

Zukünftiger Sekundär-Energiebedarf (= PE bei Einsatz von 100% EE)

Wdh.: bei „gerechter“ Energieverteilung und ohne Effizienzmaßnahmen wären **450 PWh** SE für 10 Mrd Menschen nötig

Bei „milder“ Effizienzsteigerung **(Faktor 2):**
SE nur noch die Hälfte → **225 PWh**

Bei „moderater“ Effizienzsteigerung **(Faktor 3):**
SE nur noch ein Drittel → **150 PWh**

Referenzszenarium

Bei „massiver “ Effizienzsteigerung (**Faktor 5**, von Weizsäcker et al.):
SE nur noch ein Fünftel → **90 PWh**

Source: Eigene Überlegungen (Faktor 2 und 3), von Weizsäcker et al (Faktor 5)

… einer der Ignoranten des Klimawandels

… wenn‘s nicht so traurig wär …

Source: Hanau Post 140401

„Die EE alleine können NICHT den weltweiten Energiebedarf befriedigen!“

Sonne, Wasser oder Wind können auch langfristig nicht mehr als 4 % unseres Strombedarfs decken.

Badenwerk Karlsruhe * Bayernwerk München * EVS Stuttgart * Isar-Amperwerke München * Neckarwerke Esslingen * PreussenElektra Hannover * RWE Energie Essen * TWS Stuttgart * VEW Dortmund

Anzeige **SZ 1993 Nr. 152**

„Die EE alleine können NICHT den weltweiten Energiebedarf befriedigen!“

Sonne, Wasser oder Wind können auch langfristig nicht mehr als 4 % unseres Strombedarfs decken.

Angela Merkel wiederholte diese Behauptung als frischgebackene Umweltministerin im Kabinett Kohl
(1994-1998)

Anmerkung des SFV: Tatsächlich decken die EE inzwischen etwa 15 % (2008)

… im 1. HJ 2014 deckten die EE 28,5% des Strombedarfs

Die wichtigsten EE-Technologien der Zukunft

(1) **Wind** on- und off-shore

(2) **Solarwärme** für Kälte und (mittlere Prozess)wärme

(3) **PV Solar Strom** für dezentrale Stromerzeugung netzgekoppelt und netzfern überall

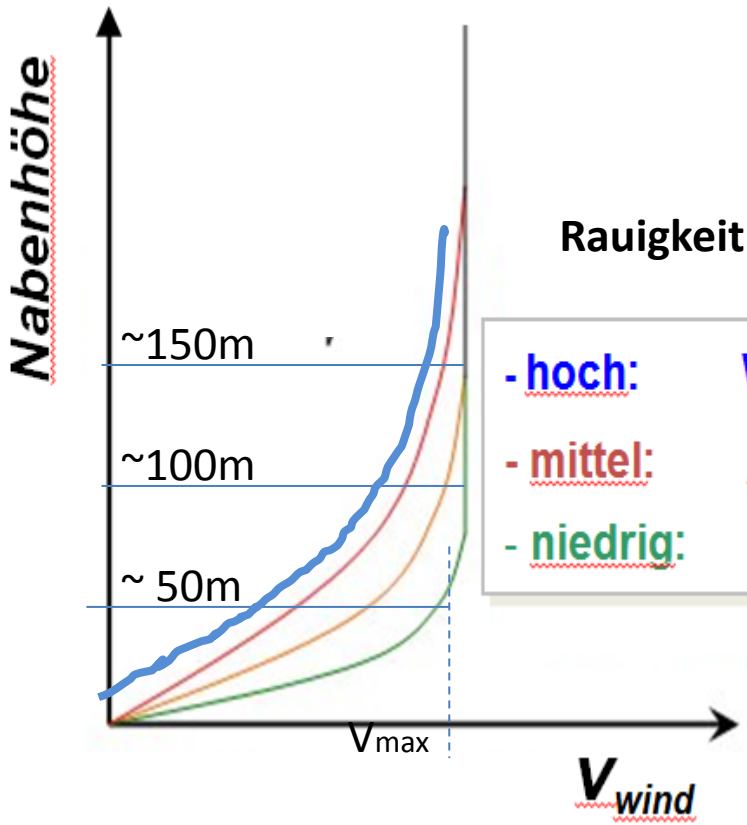
(4) **Konzentrierende solarthermische und PV Kraftwerke** für zentrale Stromproduktion für energieintensive Industrie an Orten mit hoher Direkteinstrahlung

… so muss es in den 1920er Jahren mit 12.000 Windmühlen ausgesehen haben ..

5MW Wind Converter

Source: REpower Systems AG

Örtliche Abhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit



Rauigkeit des Untergrundes

- **hoch:** Wald, Stadt
- **mittel:** Landschaft
- **niedrig:** Meer, See

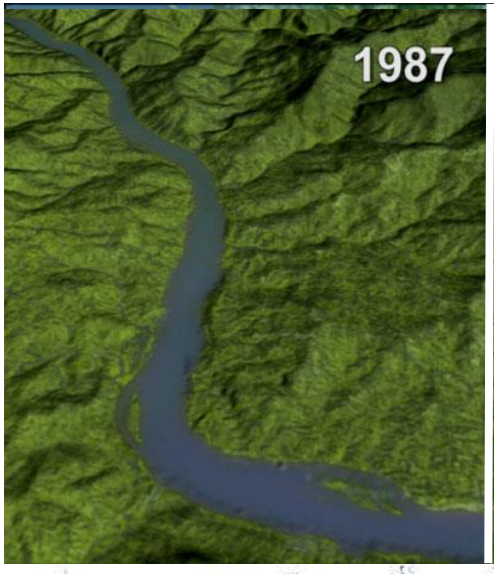
	Volllast-Stunden pro Jahr
Im Land	~2000-3000
Küstennähe	~2500-3500
Off shore	~3500-4500

P_{WKA} ~ (mittl. Windgeschw.)^^3

P_{WKA} ~ (Rotordurchmesser)^^2

Source: EWEA, BWE

Wasserkraft: China‘s Drei Schluchten Stausee mit Kraftwerk



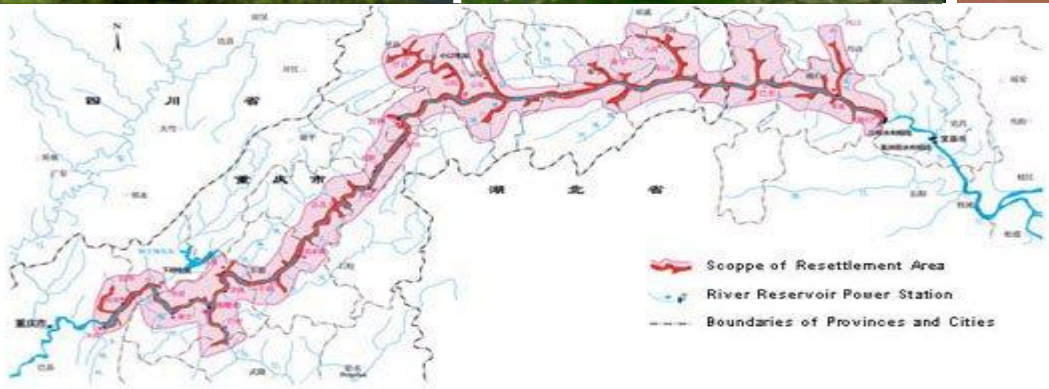


Diagram of the TGP inundation area

Staumauer 185 m hoch, 200 m lang
Volumen 40 Mrd m³
Länge Stausee 620 km
23 GW Leistung, ca. 90 TWh/a
25 … 50 Mrd $ Invest

China Three Gorges Project ©2002 All rights reserved

Wachstum der Wasserkraft: Historie und Zukunft

- In der Vergangenheit wuchs die Wasserkraft ~linear von 0.9 PWh in 1965 auf 3.5 PWh in 2011 (das entspricht ~0.5 PWh alle 10 Jahre)

- Mit der Annahme, dass künftig das gleiche Wachstum beibehalten wird, würde es ~100 Jahre dauern, bis das ökonomische Potential von 8 PWh erreicht ist

Bioenergie (~2005)

Kategorien für Bioenergie (~2005)

Kategorie	% der gesamten Bioenergie	Energie [TWh]
Traditionell (Feuerholz für Kochen & Heizen)	86.0	11,954
Moderne Biowärme	7.5	1,043
Biopower (entspricht ca. 45 GW)	4.3	598
Biokraftstoff		
# Bioethanol	1.8	250
# Biodiesel	0.4	56
Gesamt	100.0	13,900

Stromproduktion mit PV ist 20- bis 60-mal effizienter als mit Biomasse

Der Anbau von Mais in Deutschland ergibt mit nachfolgender Umwandlung in Biogas ~16 MWh/ha (=10^^4 m²). Selbst in den besten Klimazonen und Nutzung der am schnellsten wachsenden Pflanzen kann dies maximal vervierfacht werden (~64 MWh/ha oder **~25 MWh/ha Strom** bei 40% Wirkungsgrad)

Auf der gleichen Fläche in Deutschland kann mit einer PV Freiflächenanlage **~500-800 MWh/ha** erzielt werden – das ist die **20 bis 30-fache** Strommenge!
… und in südlichen Regionen die doppelte Strommenge, also **40 bis 60-fach** bessere Effizienz und das ohne Düngemittel, Pestizide und Bewässerung!

Zusätzlich kann unter den Modulen auch Gemüse etc wachsen, falls die Module nur etwas höher montiert werden – alternativ können unter den Modulen Schafe grasen

Die gleichen qualitativen Argumente gelten auch für Windenergieanlagen

Source: Eigene Überlegungen, Weichgrebe (Uni Hannover)

Effizienz noch deutlich höher für E-Autos mit PV Strom im Vergleich zu Biodiesel

Wdh.: Der maximale Energieertrag ist 64 MWh/ha oder 64 kWh/(10m²);
Mit einem **Verbrennungsmotor**, der 5l/100 km verbraucht, lassen sich damit ~**140 km fahren** (5l =~ 45 kWh)

Auf einem Teil eines Hausdaches lassen sich mit 10 m² PV in Deutschland 1.000 bis 1.500 kWh produzieren (Modul-eta 10 – 15%);
Mit einem 4-Personen **e-Auto**, das ~15 kWh/100 km verbraucht, lassen sich damit **6.700 – 10.000 km** fahren – **50 bis 70 mal so viel**

In südlichen Regionen mit doppelt so viel Solarstrahlung lassen sich damit **13.400 bis 20.000 km** fahren – **100 bis 140 mal so viel** im Vergleich zum Biodiesel und gleicher Anbaufläche für den notwendigen Biosprit

Für viele Standard-Anwendungen ist eine Jahresleistung von 15.000 bis 20.000 km ausreichend!

Source: Eigene Uberlegungen, Weichgrebe (Uni Hannover)

Solarthermie – solar erzeugte Wärme

Flachkollektor

Röhrenkollektor

Niedertemperatur-Kollektoren für Warmwasser, Heizung und Kühlung und niedrige Prozesswärme

Solarthermie – solar erzeugte Wärme

Flachkollektor

Röhrenkollektor

Niedertemperatur-Kollektoren für Warmwasser, Heizung und Kühlung und niedrige Prozesswärme

CSP (Concentrated Solar Power) für Strom und Prozesswärme

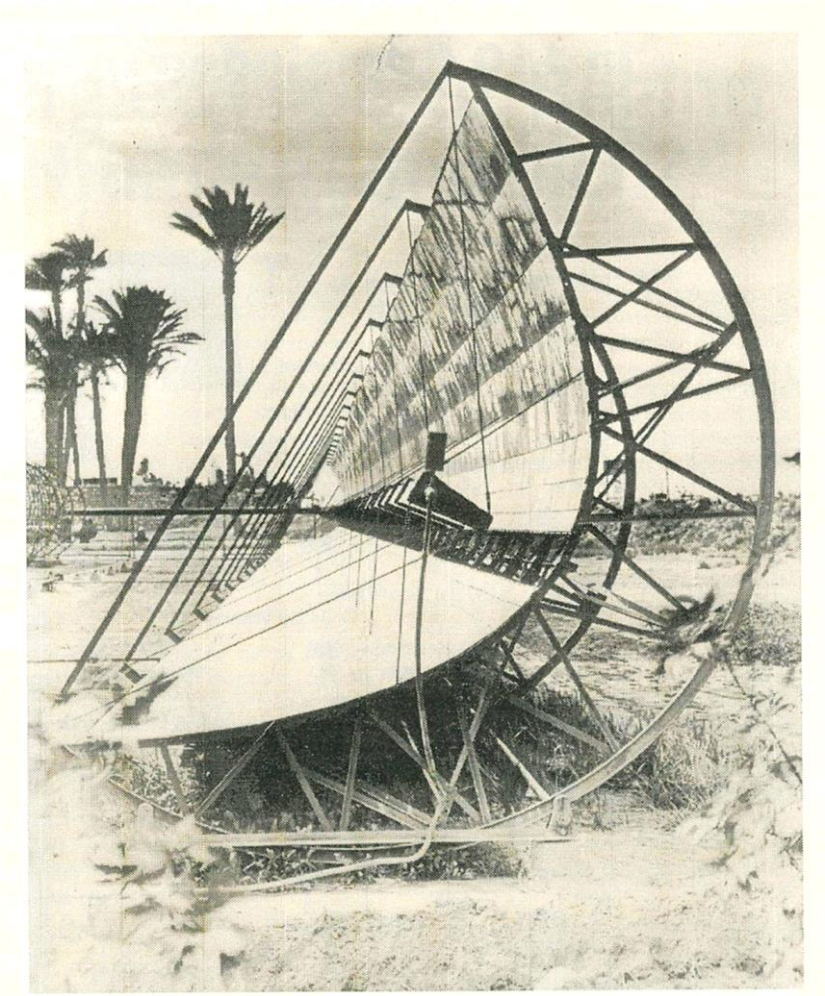
Parabolic troughs

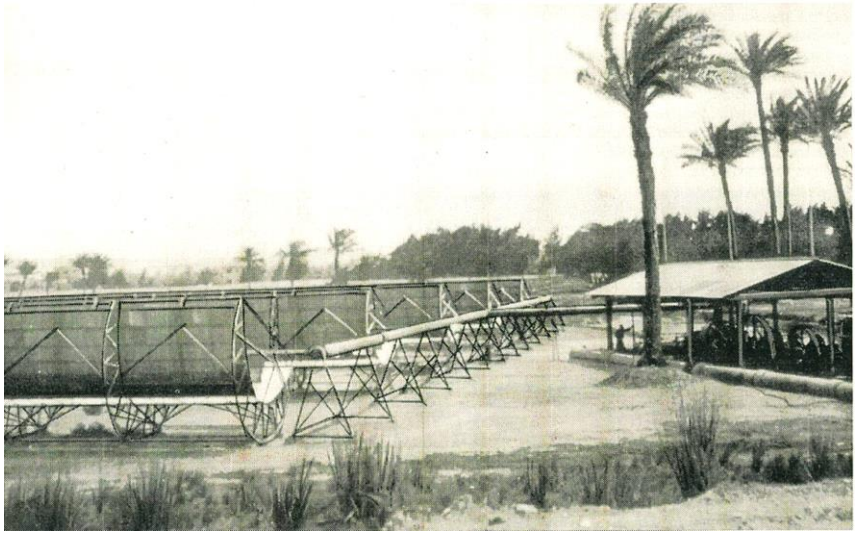
Dish

Power tower

Erstes Parabolrinnen-Kraftwerk

Ägypten in 1914





Kollektorenfeld und KW-Block von Shuman in Meadi, Nähe Kairo (1914)
5 Reihen a 62 m, Dampfturbine 120 HP

(technisches Archiv des Deutschen Museums)

Stand und Aussichten Solarthermie für NT und CSP

NT-Kollektoren: großes Anwendungspotential weltweit

- kurzfristig Warmwasser und Heizungsunterstützung
- mittelfristig Kühlung und mittlere Prozesswärme (<~200°C)

CSP – Parabolrinnen

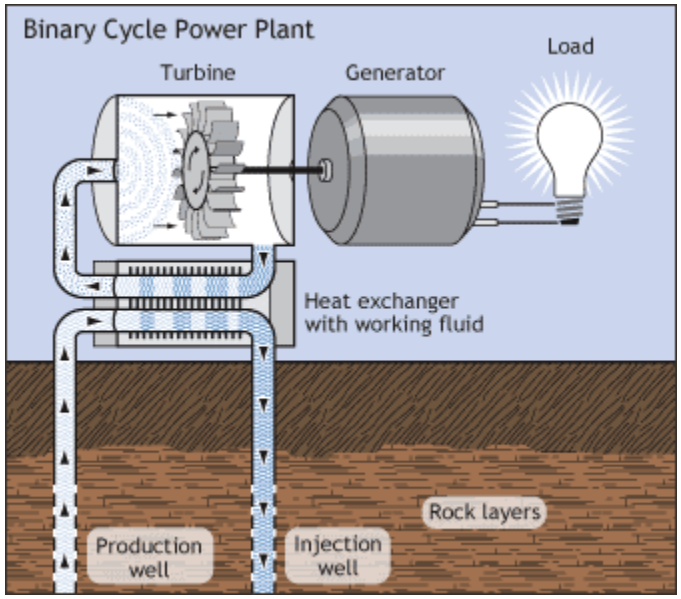
- Heutige Strom-Produktionskosten (~15€ct/kWh) limitiert wegen des verwendeten Thermoöls (<400°C) → wegen Carnot niedriger Wirkungsgrad; kostengünstige Wärmespeicherung in Salzschmelzen für spätere Stromprod.
- Ersatz Thermoöl mit Salzschmelzen → >500°C → niedrigere Kosten

Solar-Dish und Power-Tower

- Erreichen wesentlich höhere Temperaturen
- Sind derzeit im Pilotmaßstab, erste Großprojekte

Beide Anwendungen – NT und CSP – haben große Zukunft!

Geothermische Energie



- 99% der Erde ist heißer als 1000C°, aber schwer zu erreichen
- Hohe Kosten für die Bohrung
- Niedrige T-Differenz in Turbinen (200°C → 50°C)
- Hauptvorteil: Grundlastfähigkeit

Volllast-Stunden Pro Jahr	Verfügbarkeit Volllast
7000 – 8000	80% - 90%

Einlass - Temperatur [°C]	150	200	300	400	500	600
Carnot Eta $(T_h - T_l)/ T_h$ [%]	30	37	48	56	61	66

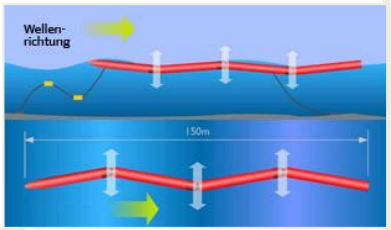
Gezeiten- und Wellenenergie

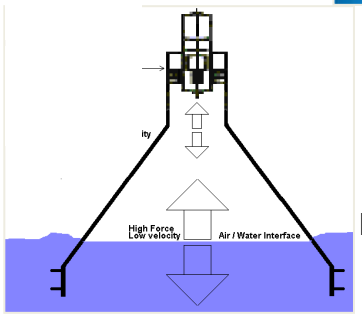
Gezeiten - Energie

Kombination mit “normalen Windrädern”(?!)
(…Erhöhung der Volllast-Stunden und
Reduktion der BOS-Kosten)

Wellen - Energie

“See - Schlange”





Pneumatische Kammer

PV - Portfolio verschiedener Kundennutzen

netzgekoppelt	netzfern	Konsumgüter	high efficiency
€/kWh	€/h Licht	W/m²	g/W
€/m² / Ästhetik	€/W	Flexibilität	W/mm²

Source: Fraunhofer ISE

Source: Own data

1980er

- **~10 MW jährlicher Zubau in 1980 (danach 17% mittleres Wachstum p.a.)**
- … nach den 1960/70er Jahren, als PV Standard für die Stromversorgung von Satelliten wurde, hielt PV Einzug in netzferne und Konsumer-Anwendungen

1990er

2000er

1980er

- **~10 MW jährlicher Zubau in 1980 (danach 17% mittleres Wachstum p.a.)**
- … nach den 1960/70er Jahren, als PV Standard für die Stromversorgung von Satelliten wurde, hielt PV Einzug in netzferne und Konsumer-Anwendungen

1990er

- **~50 MW (Wachstum 20% p.a.)**
- 1991 DE StrEG & 1.000 Dächer (Einspeisegesetz& Vorrang Einspeisung EE)
- Japan‘s 70,000 Dächer, Deutschland‘s 100,000 Dächer & Stadtwerke Initiativen

2000er

1980er

- **~10 MW jährlicher Zubau in 1980 (danach 17% mittleres Wachstum p.a.)**
- … nach den 1960/70er Jahren, als PV Standard für die Stromversorgung von Satelliten wurde, hielt PV Einzug in netzferne und Konsumer-Anwendungen

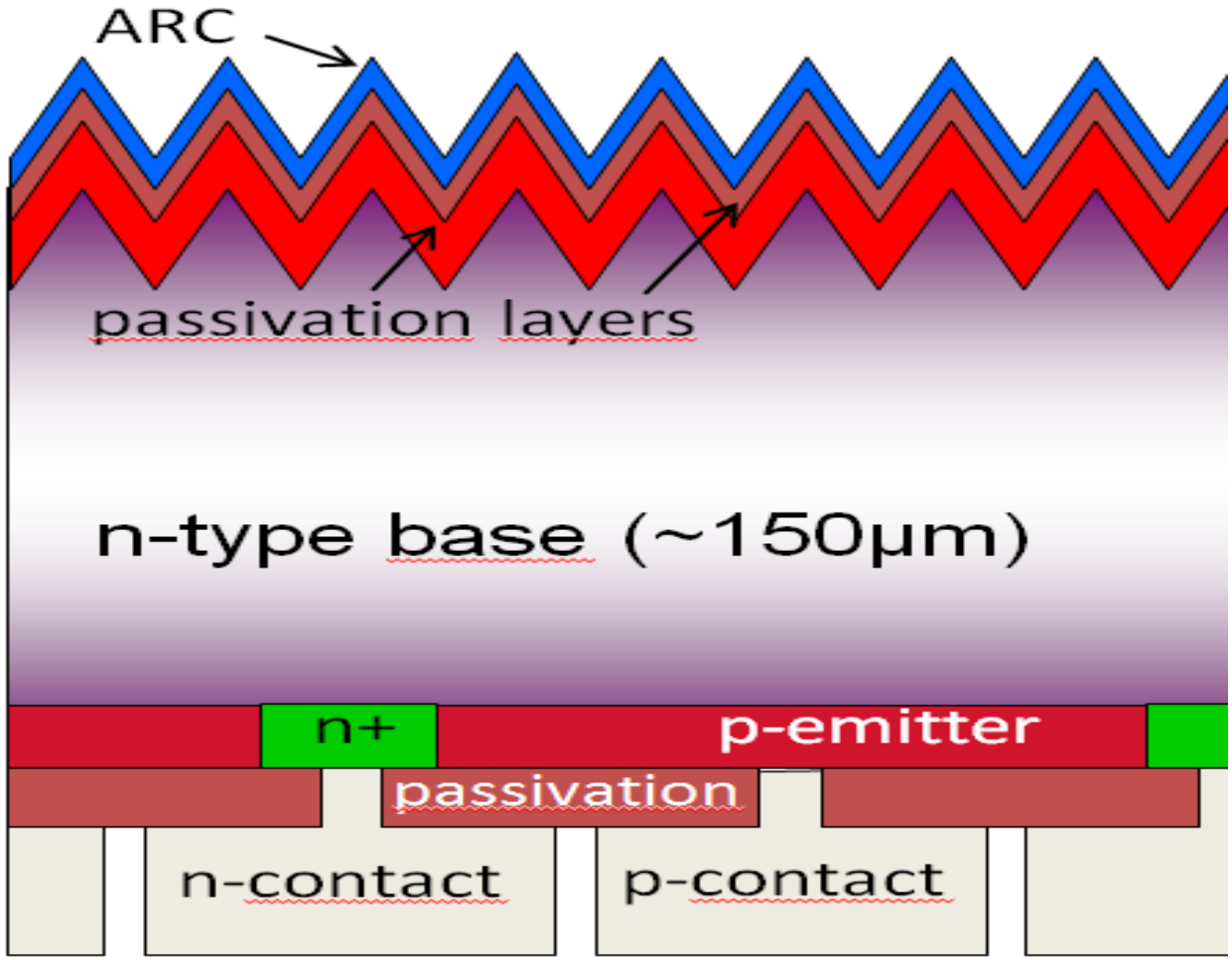
1990er

- **~50 MW (Wachstum 20% p.a.)**
- 1991 DE StrEG & 1.000 Dächer (Einspeisegesetz& Vorrang Einspeisung EE)
- Japan‘s 70,000 Dächer, Deutschland‘s 100,000 Dächer & Stadtwerke Initiativen

2000er

- **~300 MW (Wachstum 52% p.a.)**
- 2000 DE EEG & viele FiT‘s in EU … PPA‘s , FTC‘s & REPS‘s (i.w. USA)
- Dekade mit dem größten Wachstum … Produkt- & Material-Engpässe

Rückkontakt-Solarzellen mit >23% Eff

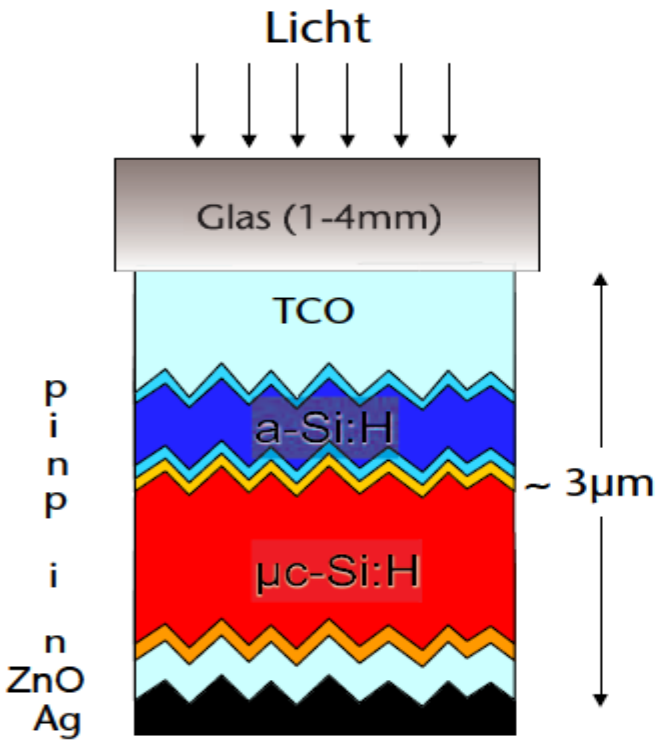


Sun Power Technologie – verhältnismäßig teuer

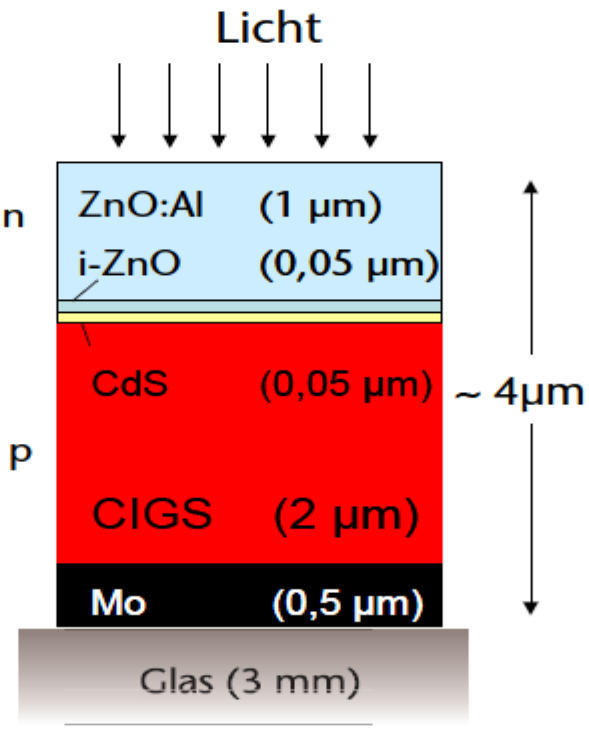
Neue Möglichkeiten – Ionen Implanter (Maschinen noch zu teuer)

Dünnschicht-Solarzellen

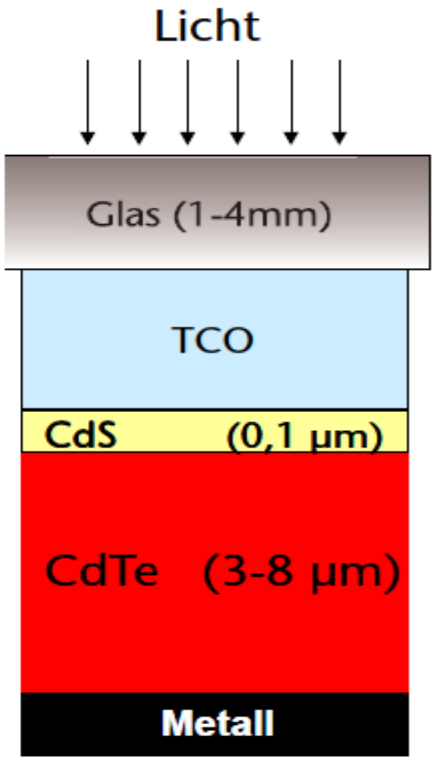
a-Si/µc-Si Tandemzelle („Micromorph“)



CIGS-Solarzellen: $CuIn_{1-x}Ga_xSe_{1-y}S_y$

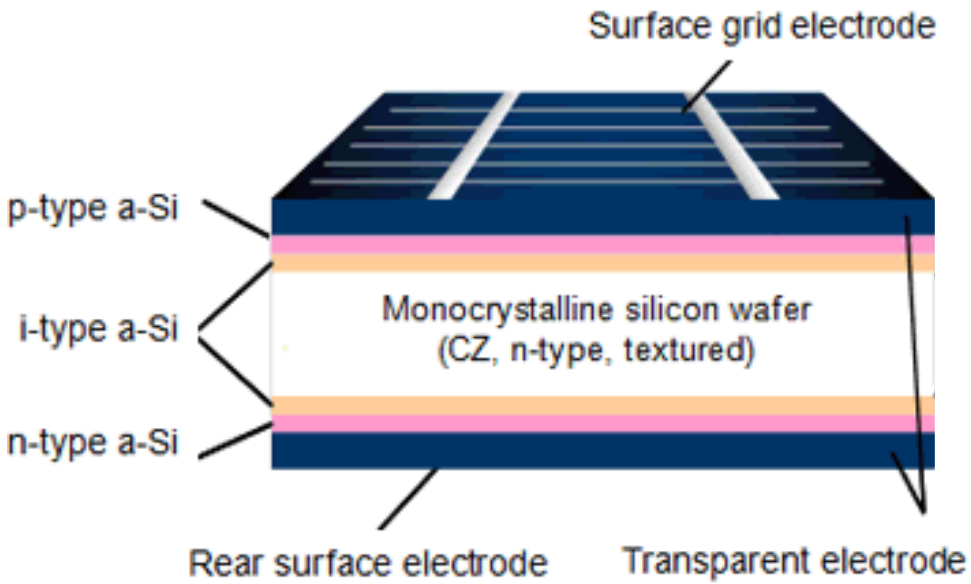


CdTe-Solarzellen: CdTe



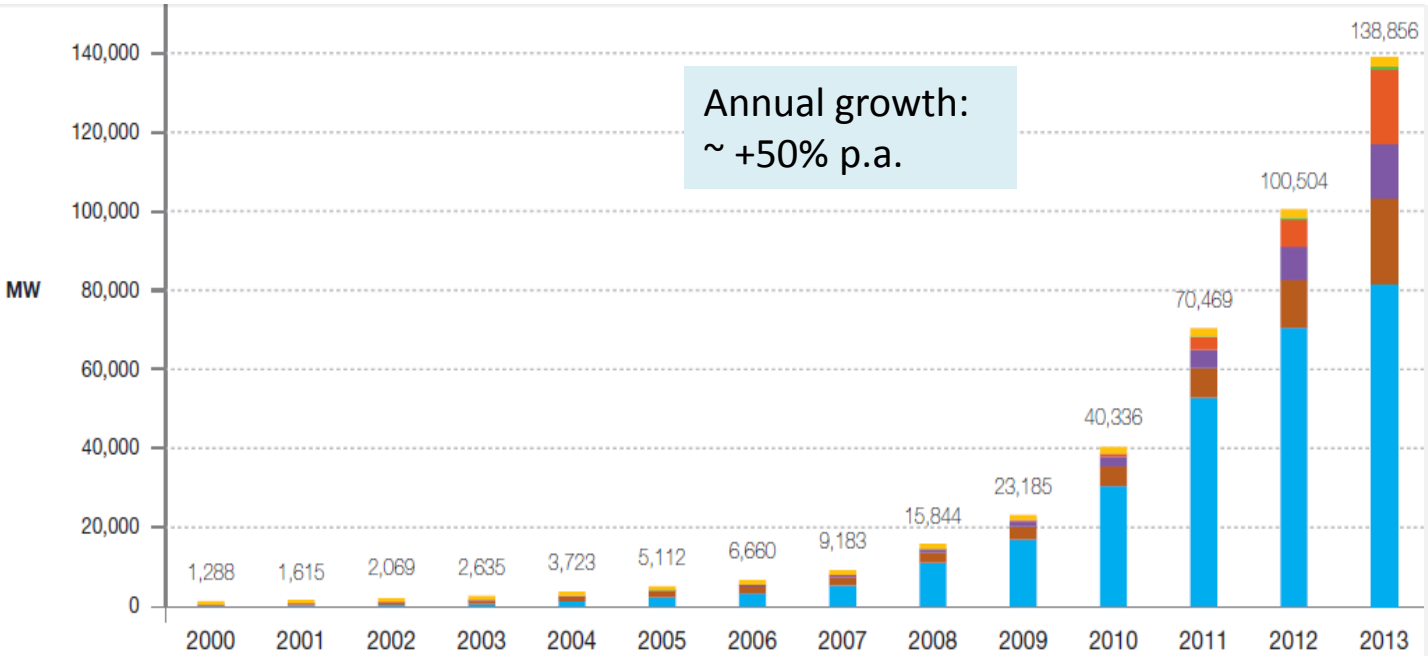
„Honeymoon“-Solarzelle (HJT) – Verheiraten der DS- und c-Si Technologie

Kürzlicher Weltrekord mit Laborzelle: 25,6% auf ~100 cm²



Source: Panasonic

EPIA's historische Marktanalyse (kumulierte verkaufte Mengen)

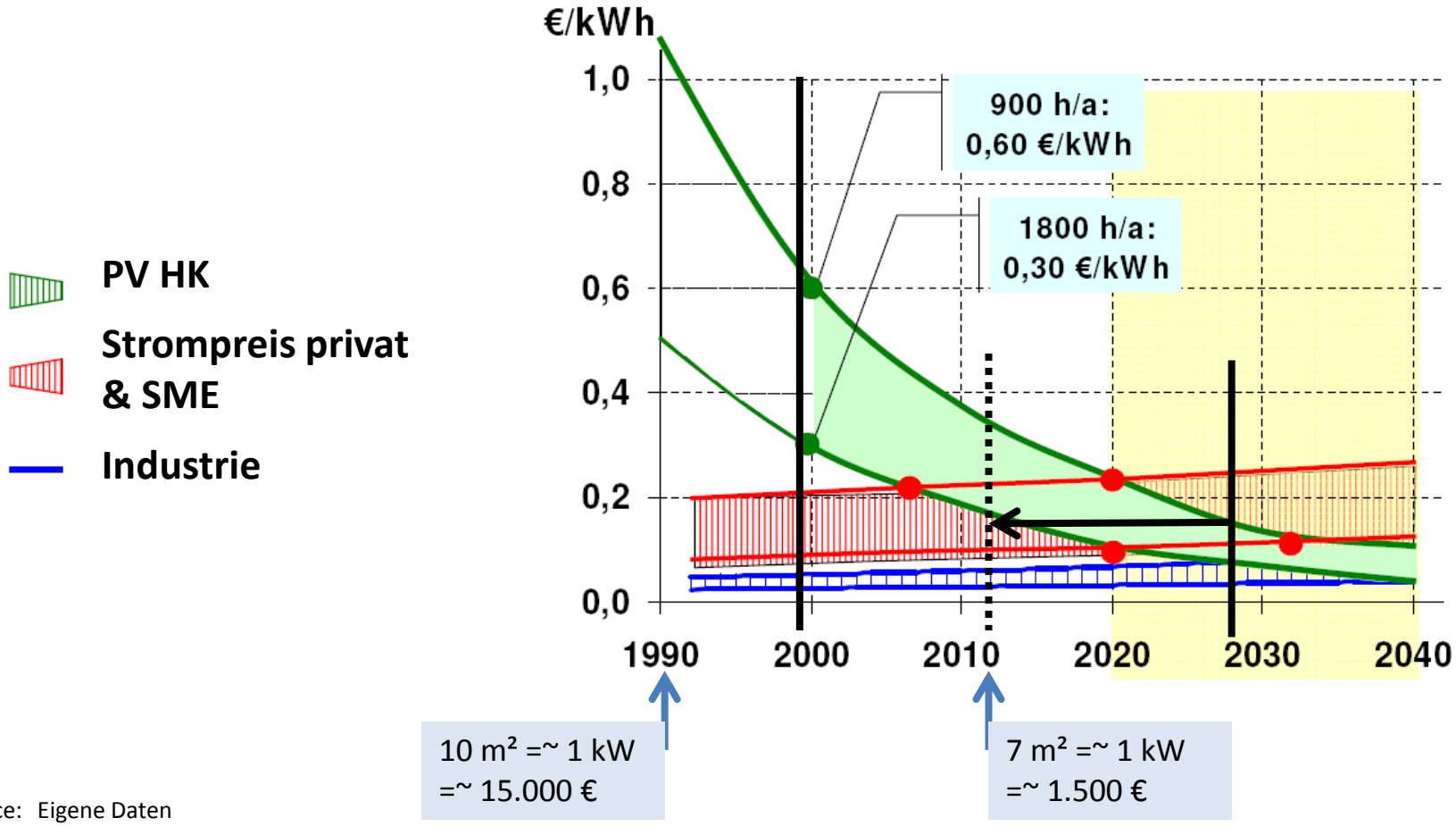


	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
RoW	751	807	887	964	993	1,003	1,108	1,150	1,226	1,306	1,590	2,098	2,098	2,098
MEA	n/a	n/a	n/a	n/a	1	1	1	2	3	25	80	205	570	953
China	19	24	42	52	62	70	80	100	140	300	800	3,300	6,800	18,600
Americas	21	24	54	102	163	246	355	522	828	1,328	2,410	4,590	8,365	13,727
APAC	368	496	686	916	1,198	1,502	1,827	2,098	2,628	3,373	4,951	7,513	12,159	21,992
Europe	129	265	399	601	1,306	2,291	3,289	5,312	11,020	16,854	30,505	52,764	70,513	81,488
Total	**1,288**	**1,615**	**2,069**	**2,635**	**3,723**	**5,112**	**6,660**	**9,183**	**15,844**	**23,185**	**40,336**	**70,469**	**100,504**	**138,856**

200 GW(peak) PV power (2014/15)
= ~
170 GW power
= ~
130 full size 1.3 GW nuclear reactors

200 GW (peak) PV
x
1.3 kWh/W(peak)
= ~
260 TWh p.a. electricity =~
26 f.s. 1.3 GW nuclear reactors

„Grid parity“: PV HK = Strompreis



Source: Eigene Daten

2010s

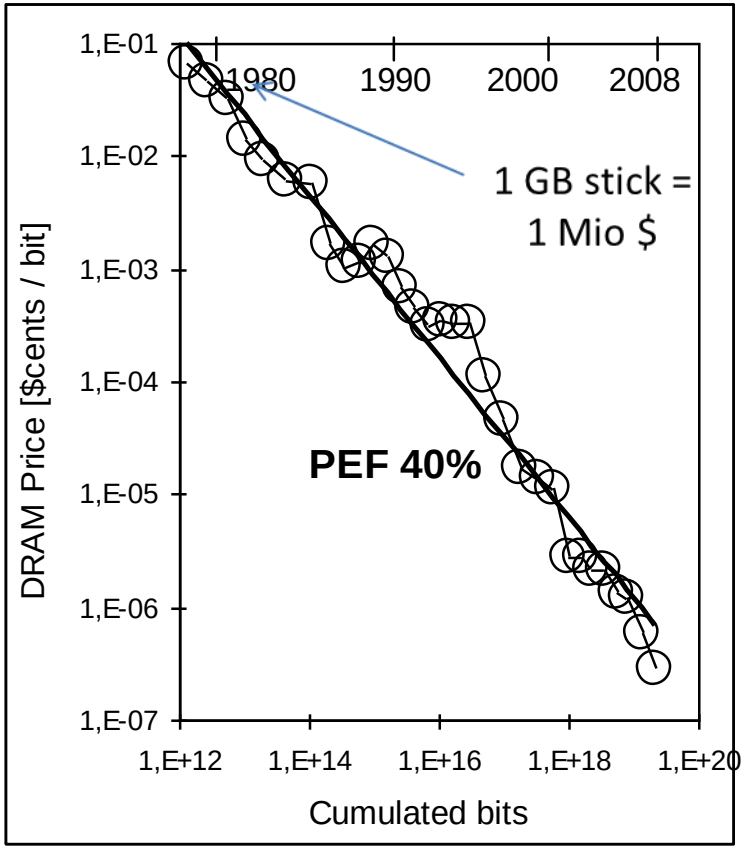
- **~20 GW (20% pa)**
- EEG in Japan, Markt Unterstützung in China, Indien etc
- PV-Diesel fuel save → PV + Speicher (+Diesel back up)

…einige Highlights für die laufende Dekade:

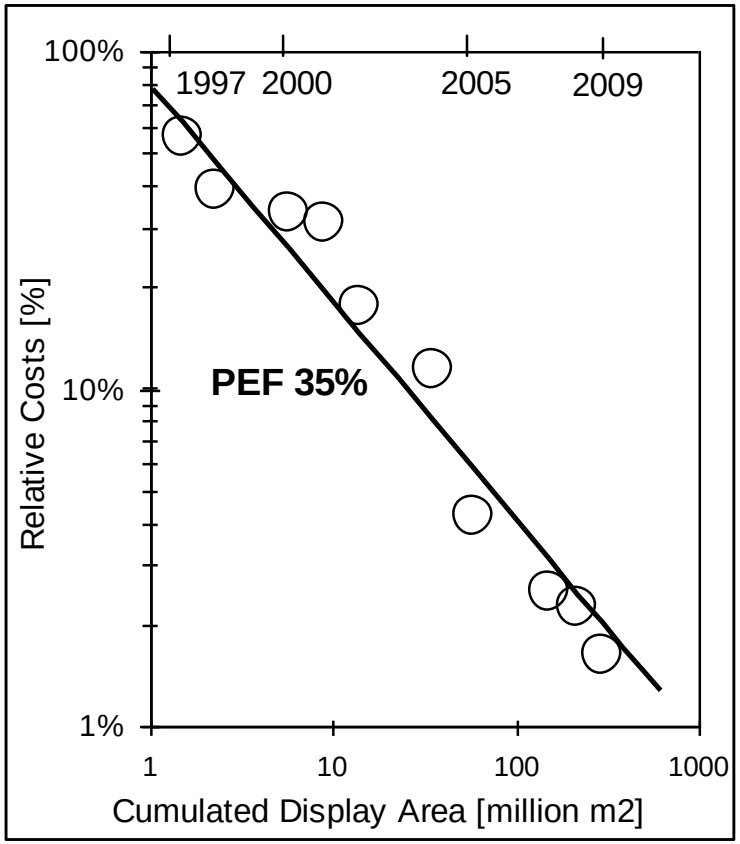
- … Zunahme der Länder mit „Grid Parity“
- Konsolidierung der PV Industrie: nach Jahren von Unterversorgung & starkem Marktwachstum resultierte dies in den Aufbau von 100% Überkapazität
- Eigenverbrauch auf lokalem Level (Haushalt, MFH und KMU‘s/ Büros) unterstützt von zunehmend wirtschaftlicher Speicherung
- Neue Marktmodelle für die Integration von zunehmenden variablen EE (Solar&Wind) unterstützt vom „Smart Grid“
- PV zunehmend die „Lösung mit niedrigsten Kosten“

Preis - Erfahrungs - Kurven

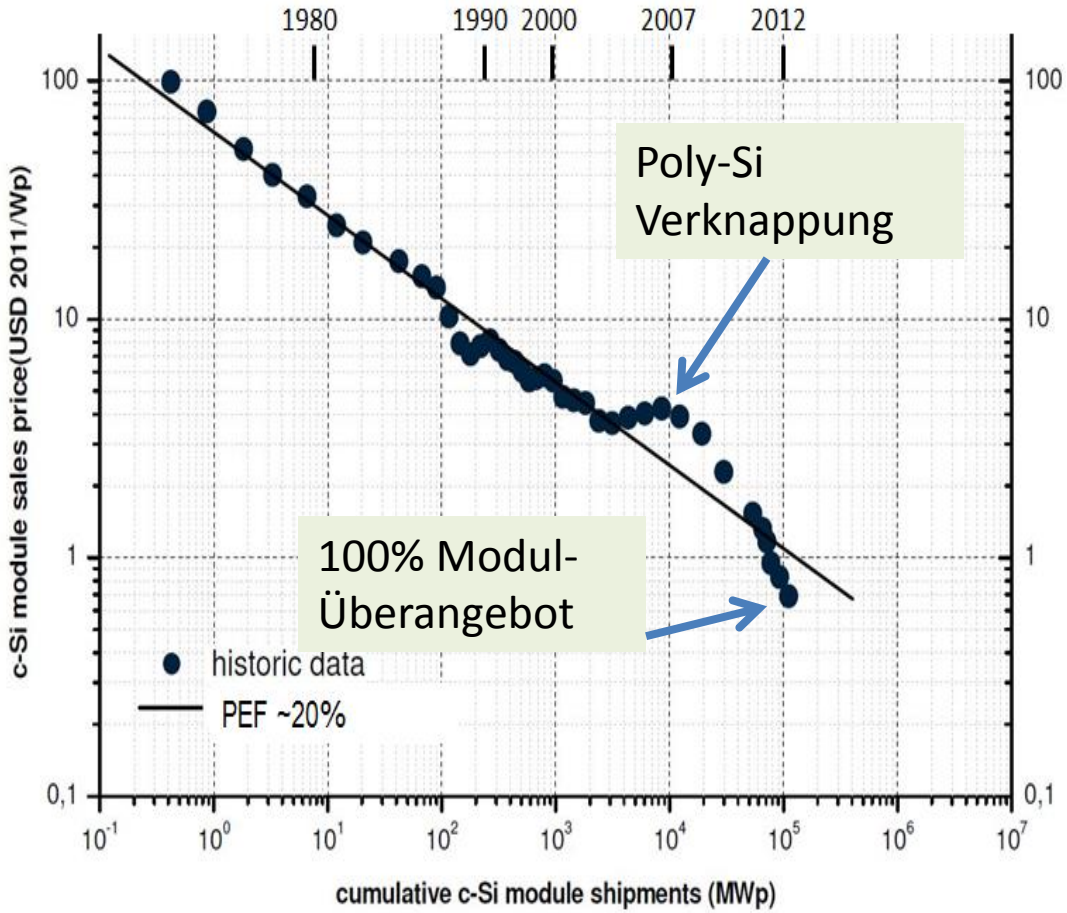
Halbleiter (DRAM)



Flach - Bildschirme



Photovoltaik: Preis-Erfahrungs-Kurve



Source: ITRPV 2013

Spezifische Material-Kosten:

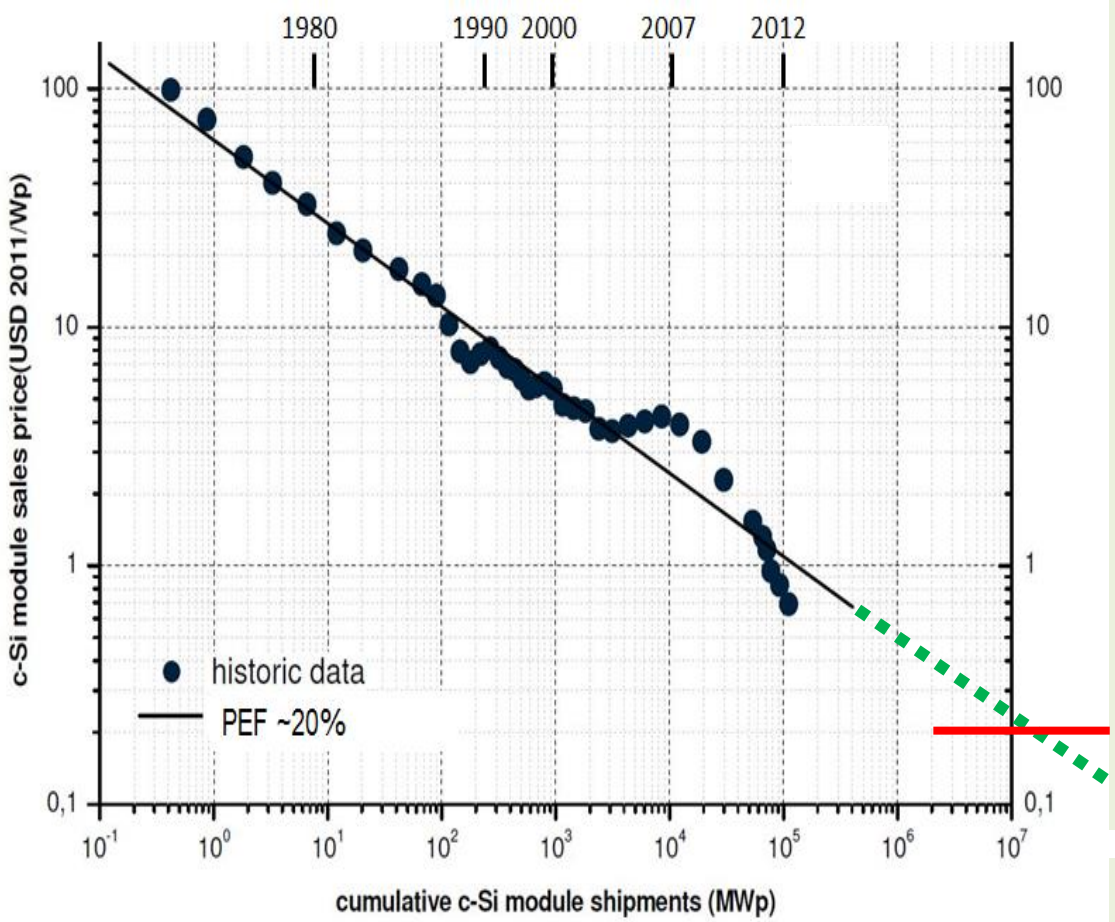
- Wafer Dicke 700 → 150µm
- Kerf Verlust 500 → 100µm
  → Gewicht 28 → 6 g/dm(2)
- Poly Si 60 → 20 $/kg
  → Mat. Kosten 1.68→ 0.12 $/dm(2)
- Effizienz 8 → 20%
  →**spec. Kosten** 2,10 → 0.06 $/W

Reduction Factor 35!

Economy of scale & industrielle Fertigung

- **Produktionslinie** 1 MW → 200 MW
- **Automation & hohe Ausbeute**
- **Produktionsprozesse mit niedrigen spezifischen Kosten**

Photovoltaik: Preis-Erfahrungs-Kurve



Source: ITRPV 2013

„Grenzkosten c-Si Module“

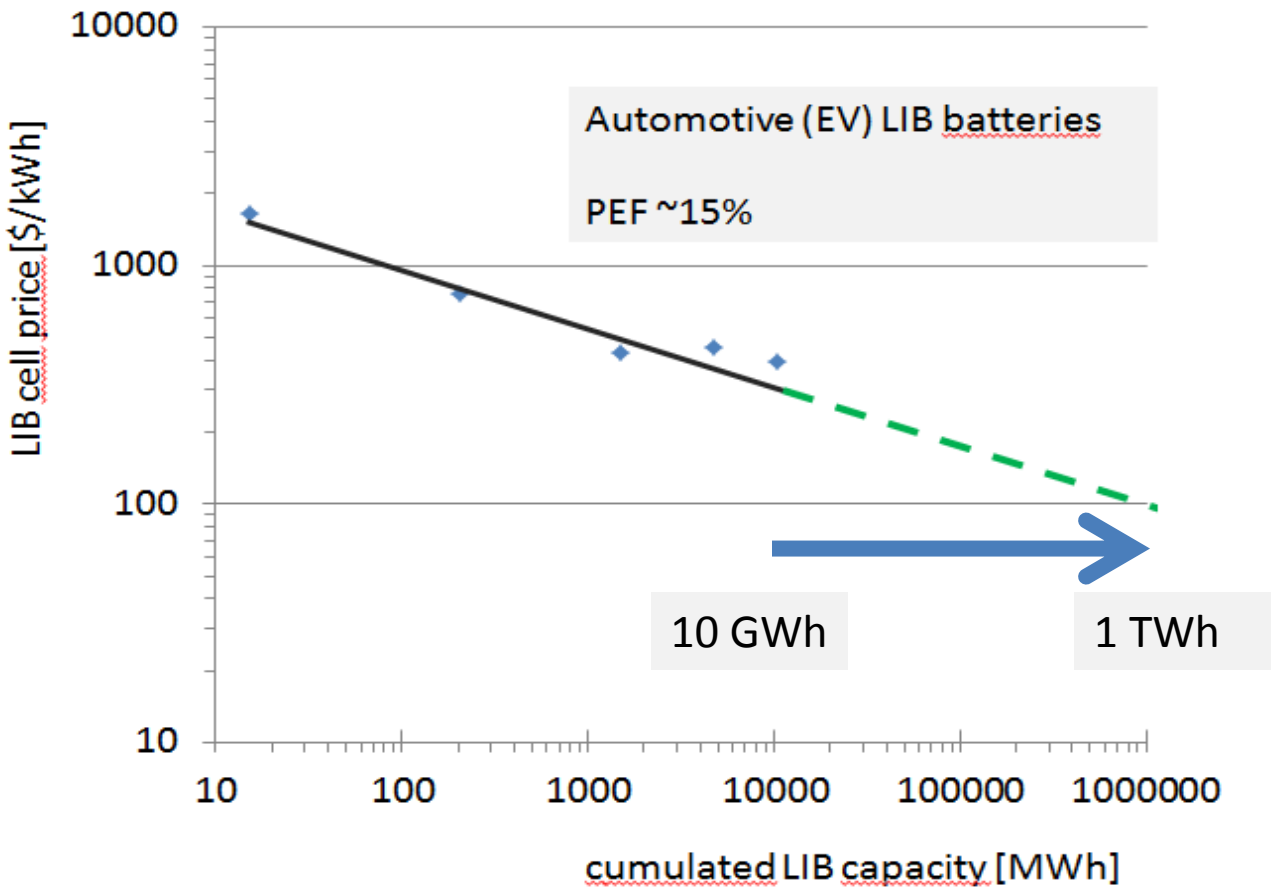
- **Wafer**
  200x200mm², 80/70µm,
  12$/kg, eta 25% $ct/W 2
  andere Mat. $ct/W 2
- **Zelle** $ct/W 2
- **Modul**
  Do-Glas a 1,4 mm $ct/W 4
  Verschalt&Verkaps $ct/W 3
  Kabel, b-rail etc $ct/W 3
- **OPEX (~80%) $ct/W 16**
- **Rest (~20%) $ct/W 4**

- **Gesamt $ct/W 20**

Strompreisentwicklung (~2020er) unterschiedlicher Technologien

Kategorie	Technologie	LCOE in heutiger Währung [$ct/kWh]
Traditionell	Saubere Kohle mit CCS	>~10
	Kernspaltung	>~10
Photovoltaik	Südliche Regionen (~2 kWh/W_{PV})	3 – 4
	Nördliche Regionen (~1 kWh/W_{PV})	6 – 8
Wind	On-shore (~2 kWh/W_{wind})	3 – 4
	Off-shore (~4 kWh/W_{wind})	4 – 5
Speicherung	klein (~kWh+)	5 – 8
	mittelgroß (~MWh)	<5

PEC for LIB batteries for automotive applications

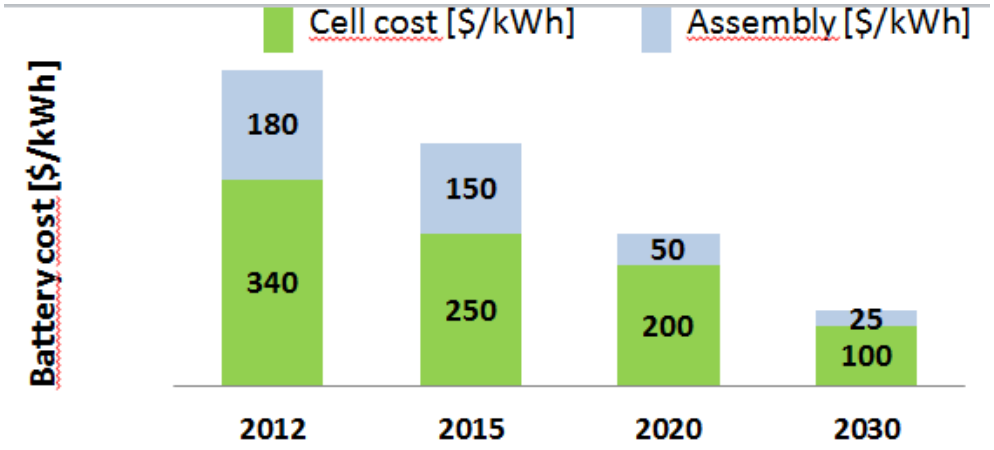


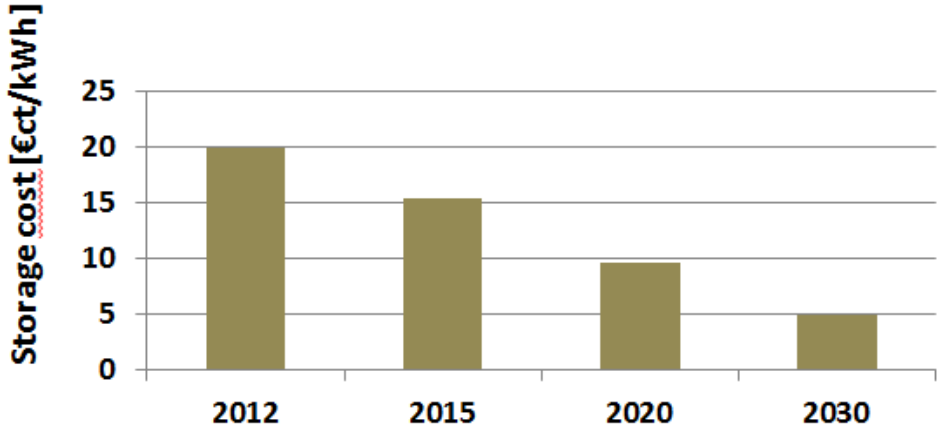
For comparison: PV between 2000 and 2010 had CAGR (cum) of 41%

CAGR (cum. Vol.) = 31 p.a. for 2030

Source: Raw data from personal communication C. Pillot (2014), avicenne; PEC curve constructed by author

LIB cell- and battery cost and resulting storage cost





LCOS (Levelized Cost of Storage) can be up to a factor of two higher depending on application (installation, BOS, power electronics)

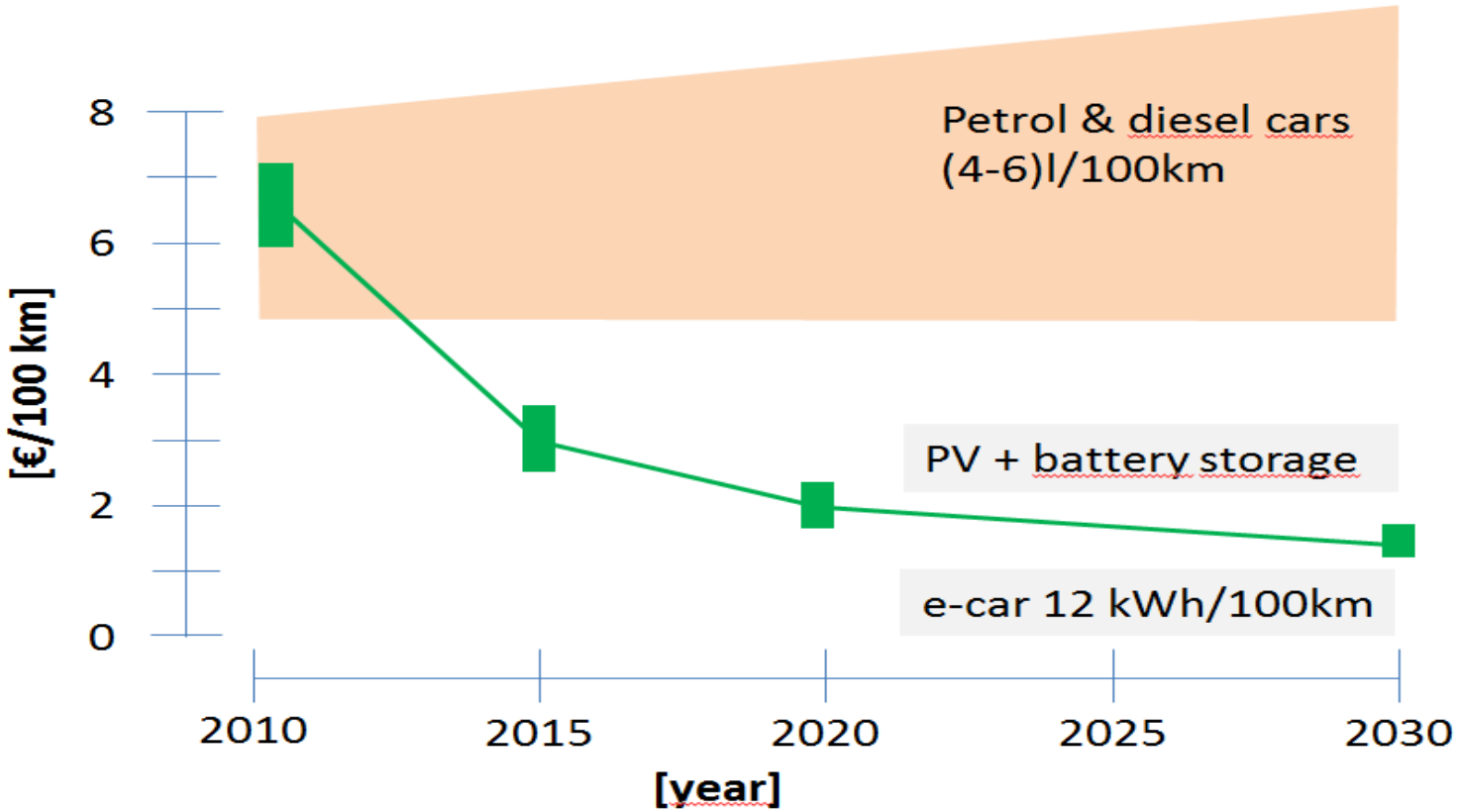
Simplified calculation for the cost of a stored kWh by a LIB battery:

- Lifetime 5,000 cycles
- Financing cost ~ same as investment
- Usable capacity per cycle ~80%

Cost per kWh = (I x 2)/(5,000 x 0.8)

Source: LIB cost 2012, 2015 and 2020 from C. Pillot (2014), avicenne; 2030/35 LIB cost, storage cost and conclusions are own estimates

Fuel cost per 100 km for conventional cars and electricity & storage cost for e-cars



BSC [€ct/kWh]	40	15	10	5
PV [€ct/kWh]	10-20	7 -14	5 -10	4 -7

2020s

- **~120 GW (14% pa)**
- Dekade der Transformation von nuklear & fossil → RE
- PV & Speicherung voll wettbewerbsfähig

2030s

- **~450 GW (8% pa)**
- Viele Kommunen demonstrieren 100% Autarkie
- Energieeffizienz & EE werden zum globalen Standard

2040s

- **990 GW (4% pa)**
- Mehr und mehr Länder demonstrieren Überlegenheit der EE
- Portfolio der EE & Speicherung von kWh bis TWh

… wie realistisch ist ein 20%-Anteil von PV für den künftigen SE-Bedarf mit 100% EE?

	V 1
Decade	% growth
1990 - 2000	*20*
2000 - 2010	*50*

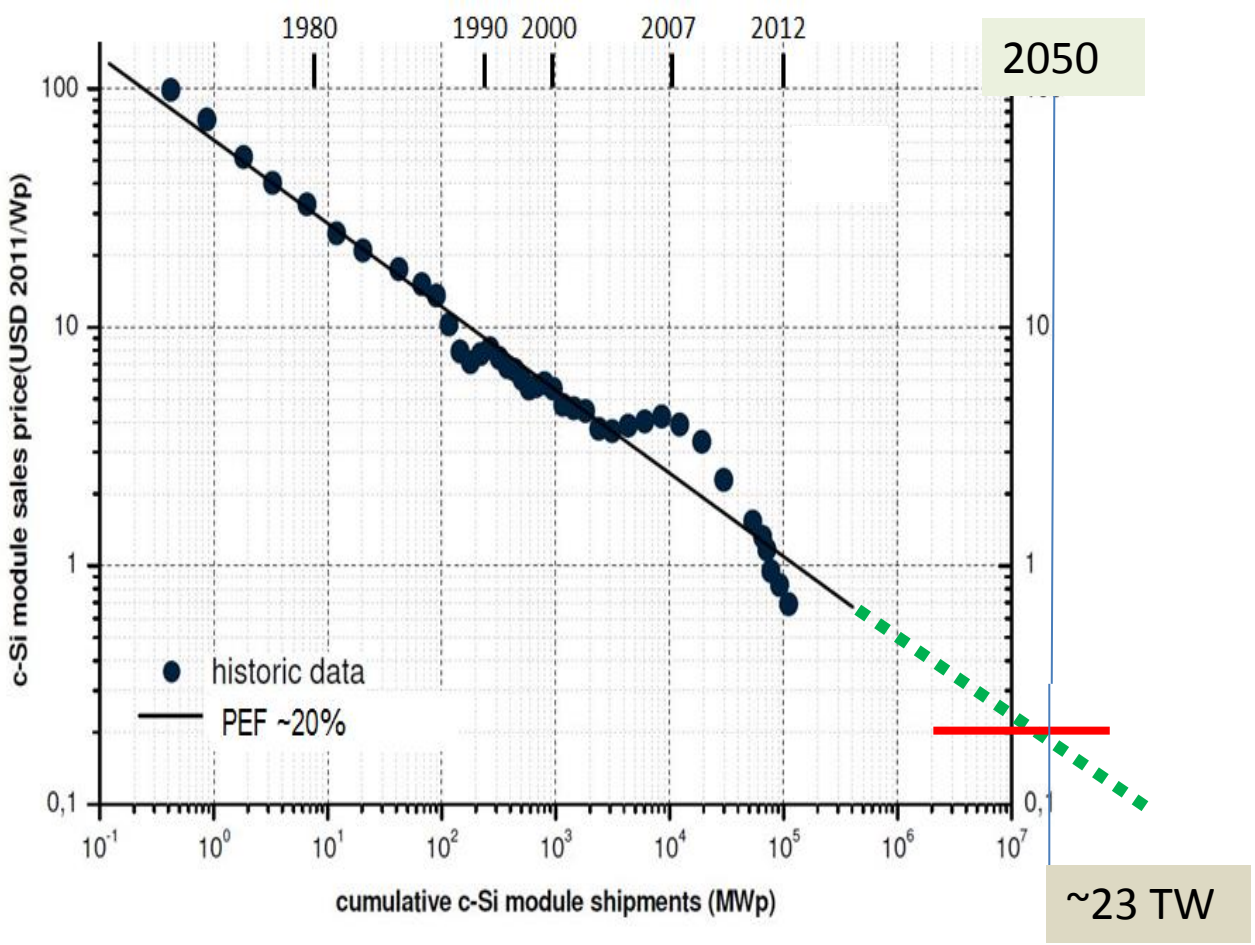
Source: Winfried Hoffmann, own data

… wie realistisch ist ein 20%-Anteil von PV für den künftigen SE-Bedarf mit 100% EE?

	V 1
Decade	% growth
1990 - 2000	*20*
2000 - 2010	*50*
2010 - 2020	20
2020 - 2030	14
2030 – 2040	8
2040 – 2050	4
cumulative PV power in 2050 [TW]	**23**
Annually produced energy [PWh] in 2050 at 1.3 kWh/W (average)	**30**

Source: Winfried Hoffmann, own data

Photovoltaik: Preis-Erfahrungs-Kurve



Source: ITRPV 2013

2050s

- **~1,500 GW (kein weiteres Wachstum) mehr**
- PV ist kostengünstigste Technologie zur Stromerzeugung
- Globale Entwicklung zu 100% EE

…einige Höhepunkte:

- Die kumulative PV-Installation in 2050 ist ~23 TW, die ~30 PWh Strom produziert
- Globaler Umsatz ist > 1 trillion (10^^12)€, vergleichbar zur heutigen globalen Automobilindustrie

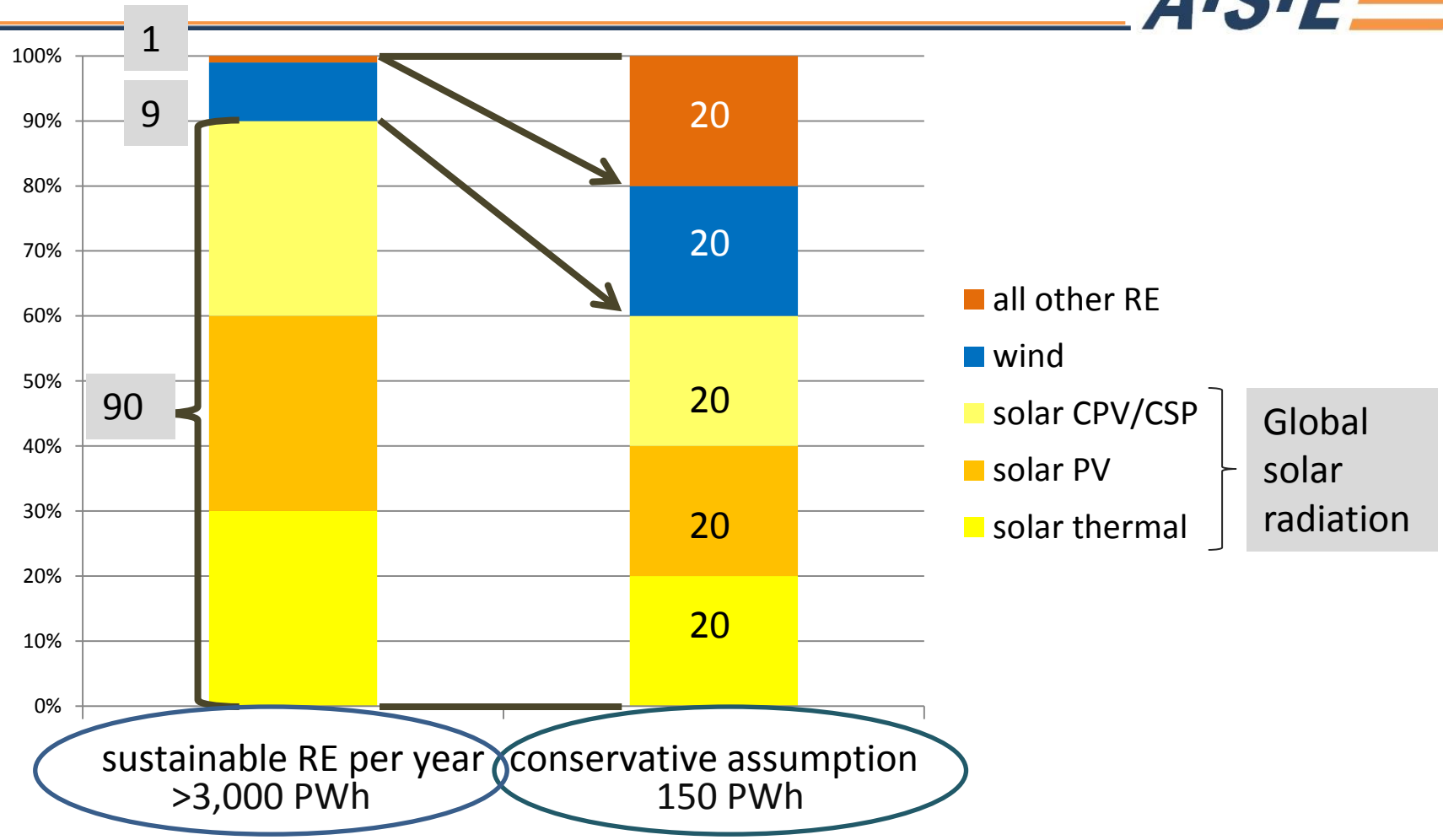
Potential Erneuerbarer Energien pro Jahr
& Vergleich mit künftigem SE-Verbrauch (150 PWh)

	Technisches Potential [PWh/year]	Nachhaltiges Potential [PWh/year]	
Biomasse	224	28,0	
Geothermie	202	6,2	~1%
Hydro	45	3,4	
Solar	78.400	2.800,0	~90%
Wind	476	280 ,0	~9%
total	**79.347**	**3.117,6**	~100%

Nachhaltiges Potential =~ 20 x SE of future (~= 150 PWh)

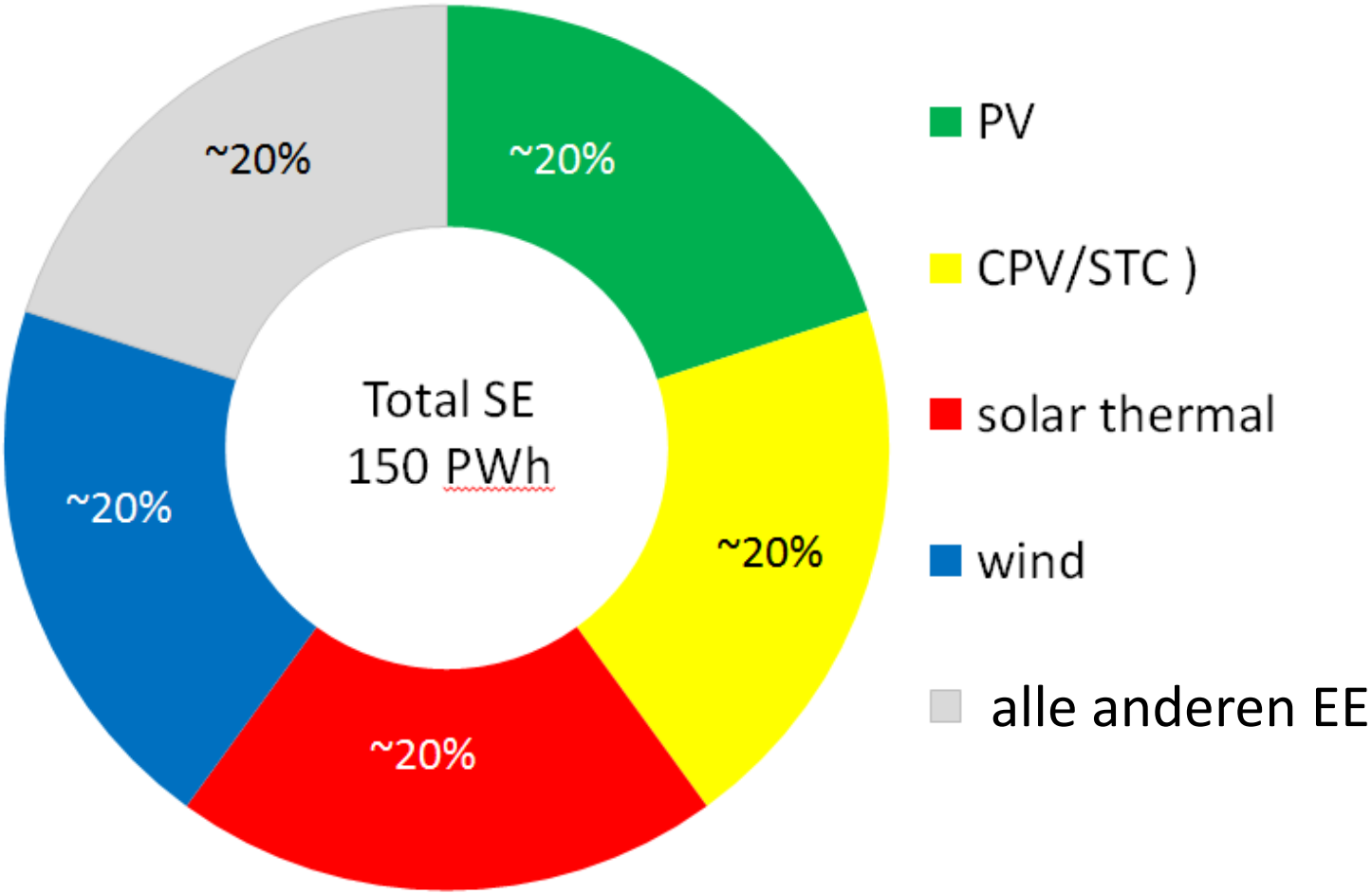
Source: EPIA, DLR (cube data), WBGU (technical and sustainable potentials), own data (future SE)

Jährliches nachhaltiges Potential für EE und konservative Annahmen



Source: WBGU, 2011 (left column);Winfried Hoffmann, own estimates (right column)

Sekundär- Energie in 2050+ in vereinfachter Darstellung

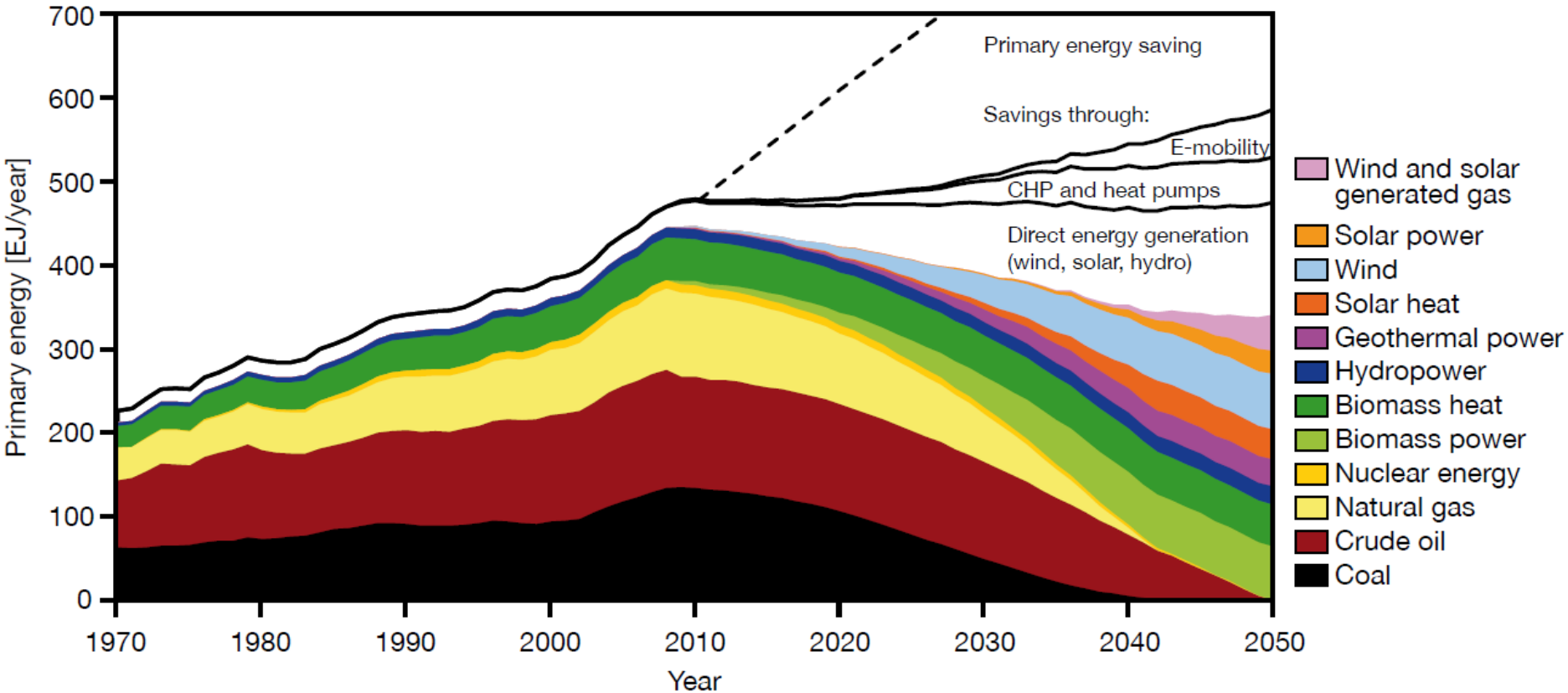


Strom mit 2/3 Anteil wichtigster Sekundär - Energieträger

Technologie	Sekundär - Energie
Photovoltaik (hauptsächlich dezentral, teilweise zentral)	Strom
CPV/CSP (zentral)	Strom (Prozesswärme)
Solarthermie (niedrige bis mittlere Temperatur)	(Prozess)Wärme
Wind (on- und off-shore)	Strom
Alle anderen (Hydro, Geothermie, Biomasse, Wellen- und Gezeitenenergie	Strom (Prozesswärme)

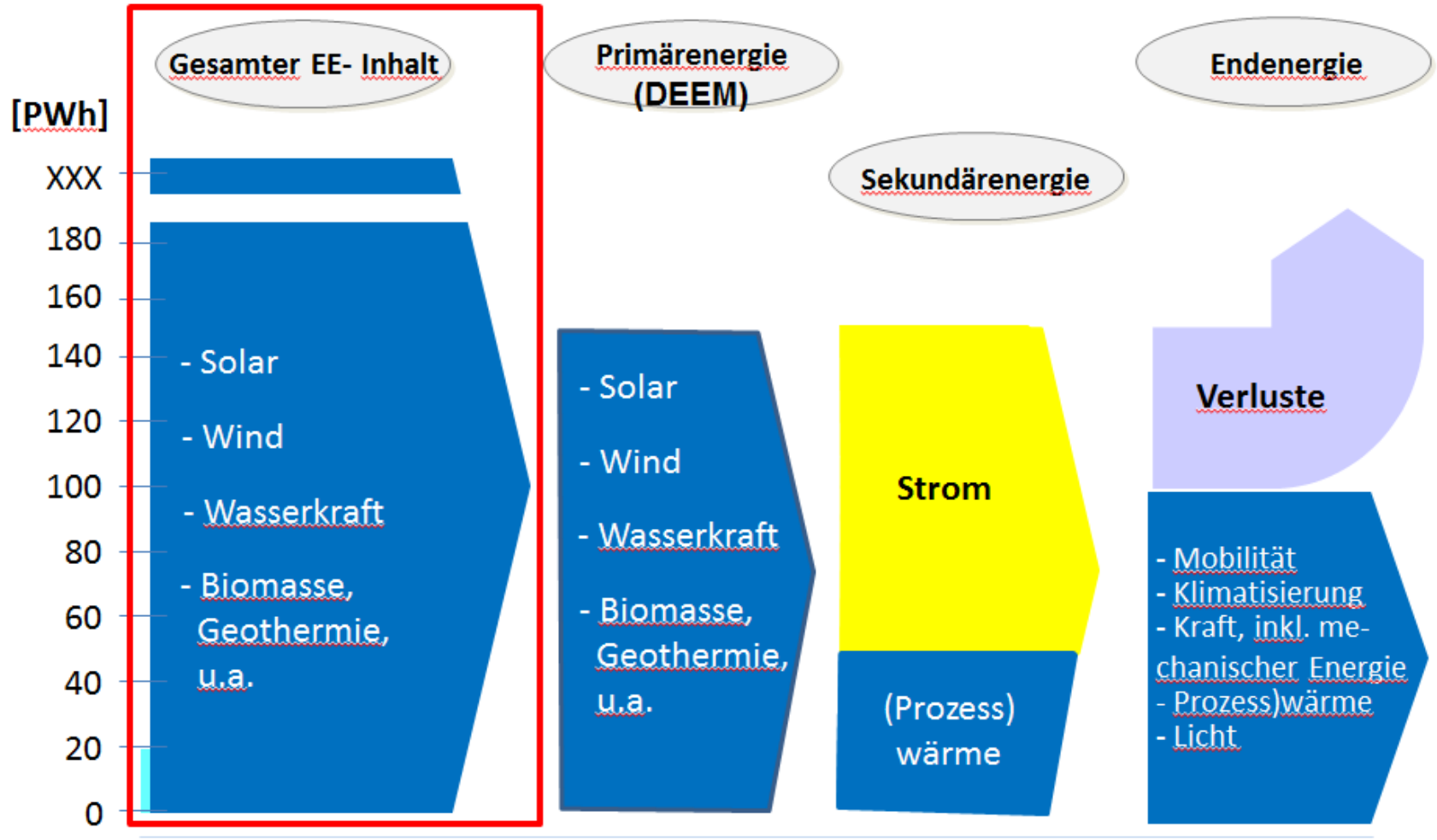
Source: Eigene Recherchen

Eines der WBGU Modelle für ein globales „2°C - Szenario“



Source: WBGU (Scientific Board for Global Environmental Changes to the German parliament) 2011 Flagship report

Zukünftige 100% EE-Versorgung (2050+); PE:SE:EndE = 1,5 : 1,5 : 1



Das 100% EE Puzzle

	100% EE für alle benötigten SE weltweit in 2050+	
	Fossile Energien haben Probleme mit CCS: keine Zukunft oder zu teuer	

Das 100% EE Puzzle

	100% EE für alle benötigten SE weltweit in 2050+	
	Fossile Energien haben Probleme mit CCS: keine Zukunft oder zu teuer	**Nuklearenergie keine Zukunft wegen Kosten, Sicherheit und Abfall**

Das 100% EE Puzzle

	100% EE für alle benötigten SE weltweit in 2050+	Energie Effizienz: mit EE bessere Lebensqualität bei deutlich weniger SE
	Fossile Energien haben Probleme mit CCS: keine Zukunft oder zu teuer	Nuklearenergie keine Zukunft wegen Kosten, Sicherheit und Abfall

Das 100% EE Puzzle

		Preis-Erfahrungs-Kurven für EE ähnlich wie für Halbleiter & FPD
	100% EE für alle benötigten SE weltweit in 2050+	**Energie Effizienz: mit EE bessere Lebensqualität bei deutlich weniger SE**
	Fossile Energien haben Probleme mit CCS: keine Zukunft oder zu teuer	**Nuklearenergie keine Zukunft wegen Kosten, Sicherheit und Abfall**

Das 100% EE Puzzle

	Schneller Übergang zu EE kostet deutlich weniger als “weiter wie bisher”	Preis-Erfahrungs-Kurven für EE ähnlich wie für Halbleiter & FPD
	100% EE für alle benötigten SE weltweit in 2050+	Energie Effizienz: mit EE bessere Lebensqualität bei deutlich weniger SE
	Fossile Energien haben Probleme mit CCS: keine Zukunft oder zu teuer	Nuklearenergie keine Zukunft wegen Kosten, Sicherheit und Abfall

Das 100% EE Puzzle

Realistische und industriell gezeigte Wachstumsraten für EE	**Schneller Übergang zu EE kostet deutlich weniger als "weiter wie bisher"**	**Preis-Erfahrungs-Kurven für EE ähnlich wie für Halbleiter & FPD**
	100% EE für alle benötigten SE weltweit in 2050+	**Energie Effizienz: mit EE bessere Lebensqualität bei deutlich weniger SE**
	Fossile Energien haben Probleme mit CCS: keine Zukunft oder zu teuer	**Nuklearenergie keine Zukunft wegen Kosten, Sicherheit und Abfall**

Das 100% EE Puzzle

Realistische und industriell gezeigte Wachstumsraten für EE	Schneller Übergang zu EE kostet deutlich weniger als “weiter wie bisher”	Preis-Erfahrungs-Kurven für EE ähnlich wie für Halbleiter & FPD
Portfolio aller EE inklusive Speicherung löst die Variabilität	100% EE für alle benötigten SE weltweit in 2050+	Energie Effizienz: mit EE bessere Lebensqualität bei deutlich weniger SE
	Fossile Energien haben Probleme mit CCS: keine Zukunft oder zu teuer	Nuklearenergie keine Zukunft wegen Kosten, Sicherheit und Abfall

Das 100% EE Puzzle

Realistische und industriell gezeigte Wachstumsraten für EE	Schneller Übergang zu EE kostet deutlich weniger als “weiter wie bisher”	Preis-Erfahrungs-Kurven für EE ähnlich wie für Halbleiter & FPD
Portfolio aller EE inklusive Speicherung löst die Variabilität	100% EE für alle benötigten SE weltweit in 2050+	Energie Effizienz: mit EE bessere Lebensqualität bei deutlich weniger SE
Umsatz weltweit für die PV alleine vergleichbar zur Automobilindustrie	Fossile Energien haben Probleme mit CCS: keine Zukunft oder zu teuer	Nuklearenergie keine Zukunft wegen Kosten, Sicherheit und Abfall

Das 100% EE Puzzle

Realistische und industriell gezeigte Wachstumsraten für EE	Schneller Übergang zu EE kostet deutlich weniger als “weiter wie bisher”	Preis-Erfahrungs-Kurven für EE ähnlich wie für Halbleiter & FPD
Portfolio aller EE inklusive Speicherung löst die Variabilität	**100% EE für alle benötigten SE weltweit in 2050+**	Energie Effizienz: mit EE bessere Lebensqualität bei deutlich weniger SE
Umsatz weltweit für die PV alleine vergleichbar zur Automobilindustrie	Fossile Energien haben Probleme mit CCS: keine Zukunft oder zu teuer	Nuklearenergie keine Zukunft wegen Kosten, Sicherheit und Abfall

A·S·E

Angewandte Solar-Expertise

Applied Solar Expertise

… und für alle, die mehr lesen wollen:

- Physik Journal, February 2014, W. Hoffmann „Perspektiven der Photovoltaik“
- Book by Wiley –Scrivener, 2014, W. Hoffmann „The Economic Competitiveness of Renewable Energy – Pathways to 100% Global Coverage“ (ISBN: 978-1-118-23790-8)