Angewandte SolarExpertise

Applied Solar Expertise

KEV Deutschland – Richtung 100%

25 Jahre Solarstrombörse (kostendeckende Einspeisevergütung KEV) – eine Burgdorfer Idee geht um die Welt!

Burgdorf, 21. November 2014

Dr. Winfried Hoffmann – ASE

Angewandte SolarExpertise

Applied Solar Expertise

KEV Deutschland –
Richtung 100% Erneuerbare Energie weltweit!

25 Jahre Solarstrombörse (kostendeckende Einspeisevergütung KEV) – eine Burgdorfer Idee geht um die Welt!

Burgdorf, 21. November 2014

Dr. Winfried Hoffmann – ASE

Lebenslauf

- Studium der Physik und Promotion in Biophysik
- 1979 NUKEM F&E Photovoltaik
- 1988 NUKEM Geschäftsbereich PV und neue Materialien (u.a. Al_2O_3 für NaS-B)
- 1985 Vorstand BSW Solar (Bundesverband SolarWirtschaft) (bis 2008)
- 1994 GF ASE – Applied Solar Energy GmbH (50%/50% JV DASA/NUKEM)
- 1996 → 100% NUKEM → RWE Solutions AG (ASE → „RWE Solar“)
- 1997 Vorstand EPIA (European PV Industry Association) (bis 2014)
- 2002 GF RWE SCHOTT Solar GmbH (50% SCHOTT AG/RWE Solutions AG)
- 2005 SCHOTT Solar GmbH
- 2007 GF Applied Materials GmbH&Co KG
- 2011 Eigene Beratungs-Firma ASE – Angewandte SolarExpertise

Angewandte SolarExpertise

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 (Hameln)

Mitglied im Kuratorium bei FhG-ISE (Freiburg), ZSW (Stuttgart) und NEXT Institut (EWE, Oldenburg)

Vorlesungen an den Universitäten Konstanz, Freiburg und Hannover

Gestern + heute

- Herkömmliche Energieversorgung mit zunehmender Erkenntnis der damit einhergehenden Problemen
- 80% fossil/7% Kernkraft/13% Erneuerbare

Energie-wende

2050+

Source:

Gestern + heute

- Herkömmliche Energieversorgung mit zunehmender Erkenntnis der damit einhergehenden Problemen
- 80% fossil/7% Kernkraft/13% Erneuerbare

Energie-wende

- Strom (zunehmend mit Erneuerbaren) – Wärme – Prozesswärme - Transport (zunehmend elektrisch)
- Effizienz

2050+

Source:

Gestern + heute

- Herkömmliche Energieversorgung mit zunehmender Erkenntnis der damit einhergehenden Problemen
- 80% fossil/7% Kernkraft/13% Erneuerbare

Energie-wende

- Strom (zunehmend mit Erneuerbaren) – Wärme – Prozesswärme - Transport (zunehmend elektrisch)
- Effizienz

2050+

- Zukünftige Energieversorgung 100% EE
- Je 20% für: **PV** (kW…MW) – **CSP/CPV** (xMW…GW) – **Solarwärme** (kW…MW) – **Wind** (MW…GW)– **alle anderen EE**

Source:

Internetseite der Bundesregierung zum Thema „Energiewende“ (11/2014)

Das **Zeitalter der erneuerbaren Energien so schnell wie möglich erreichen** und **gleichzeitig den Preis für Strom bezahlbar** halten.

- Erneuerbare Energien – der Ausbau läuft
- Netze – vor dem Ausbau gründlich planen
- Energiespeicher entwickeln
- Ausstieg aus der Kernkraft
- Kraftwerke
- Energiesparen und Wirkungsgrad erhöhen
- Elektroautos

Die **Energiewende** wird die **deutsche Energieversorgung komplett umgestalten**, zum Wohle aller. Ziel ist es, eine der umweltschonendsten und energiesparsamsten Volkswirtschaften zu werden – bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau.

Darum geht es

Der Ausbau der **erneuerbaren Energien als Alternative zur Kernkraft** ist die Grundidee des Konzepts. Der Energieanteil an der Stromerzeugung aus Sonne, Wind & Co. soll bis zum Jahr 2025 auf 40 bis 45 Prozent und bis zum Jahr 2035 auf 55 bis 60 Prozent ausgebaut werden. Schon heute sind die erneuerbaren Energien die Nummer 2 im Strommix mit rund 25 Prozent.

Erste PV Innovationen (Invention + Produkt-Umsetzung)

1960er

- PV Standard für die Stromversorgung von Satelliten

1970er

- PV wettbewerbsfähig für netzferne Anwendungen

+ Bojen + kathodischer Korrosionsschutz + …

1980er

- PV wettbewerbsfähig für Konsumer Anwendungen

+ Millionen Taschenrechner + …

Invention der Kostendeckenden Einspeise – Vergütung (KEV) 1989

LAND	SCHWEIZ	DEUTSCHLAND
Erfinder	Hans Ulrich Flückiger (Unternehmer und Stadtrat)	Wolf von Fabeck (Solar Förder Verein SFV)
Jahr	1989 in Burgdorf umgesetzt	1989 Brief an BMWi
Unterstützung	Theo Blättler (Industrie-betriebe Burgdorf)	Dr. Schulte-Janson (Strom-preisreferent NRW WiMin)
KEV	1989: 1 SFr/kWh (nicht kostendeckend)	1997 NRW ~2DM/kWh (betriebswirtschaftlich voll kosten-deckend: Kapitalbeschaffungs-kosten + angemessener Gewinn)

Source: Eigene Recherchen

… zusätzlich zu den grundsätzlichen Themen gab es pragmatische Schritte

1990er

- ~50 MW Neuzubau in 1990, danach ~20% Zuwachs pa
- **1000-Dächer-Programm in D (→2500 Anlagen je ~2,5 kW = ~6 MW in 3a**

- **1991 in D: StrEG**
- **Abnahmeverpflichtung von EE-Strom**
- **Festvergütung bundesweit** von EE-Strom (90% der Durchschnittserlöse an alle Endverbraucher)
  8,4 €ct/kWh … gut für Wind, … ohne Auswirkung für PV (Kosten ~1,1 €/kWh)
  PV Investoren erhielten 70% Investzulage
  (max 13.500 €/kW → 4.000 €/kW Eigenfinanz.)
- EVU's beachteten diese Entwicklung zunächst nicht, aber …

Anzeige der großen deutschen EVU in der Süddeutschen Zeitung 1993

Wer kritisch fragt, ist noch längst kein Kernkraftgegner.

Viele junge Leute empfinden Kernkraftwerke als bedrohlich. Wir, die deutschen Stromversorger, haben ihre Kritik nie leichtfertig abgetan. Im Gegenteil! Wir stellen uns dieselben Fragen, die sie bewegen.
Kann Deutschland aus der Kernenergie aussteigen? Ja. Die Folge wäre allerdings eine enorme Steigerung der Kohleverbrennung, mithin des Treibhausgases CO2.

Denn regenerative Energien, wie Sonne, Wasser oder Wind können auch langfristig nicht mehr als 4 % unseres Strombedarfs decken. (...)

10

SZ (1993) Nr. 152

Baden-Werk Karlsruhe,
Bayernwerk München,
EVS Stuttgart,
Isar- Amperwerke Mü,
Neckarwerke Esslingen,
PreussenElektra Hannover,
RWE Energie Essen,
TWS Stuttgart,
VEW Dortmund

Marginalisierung von PV (..und Wind) (negative Kommunikation)

1. HJ 2014: 28%!

…Sonne und Wind deckten damals weniger als 1% des deutschen Stromverbrauches

Denn regenerative Energien, wie Sonne, Wasser oder Wind können auch langfristig nicht mehr als 4 % unseres Strombedarfs decken. (…)

10

…wurde ein Jahr später von der damaligen Umweltministerin Angela Merkel (fast) wörtlich übernommen …!

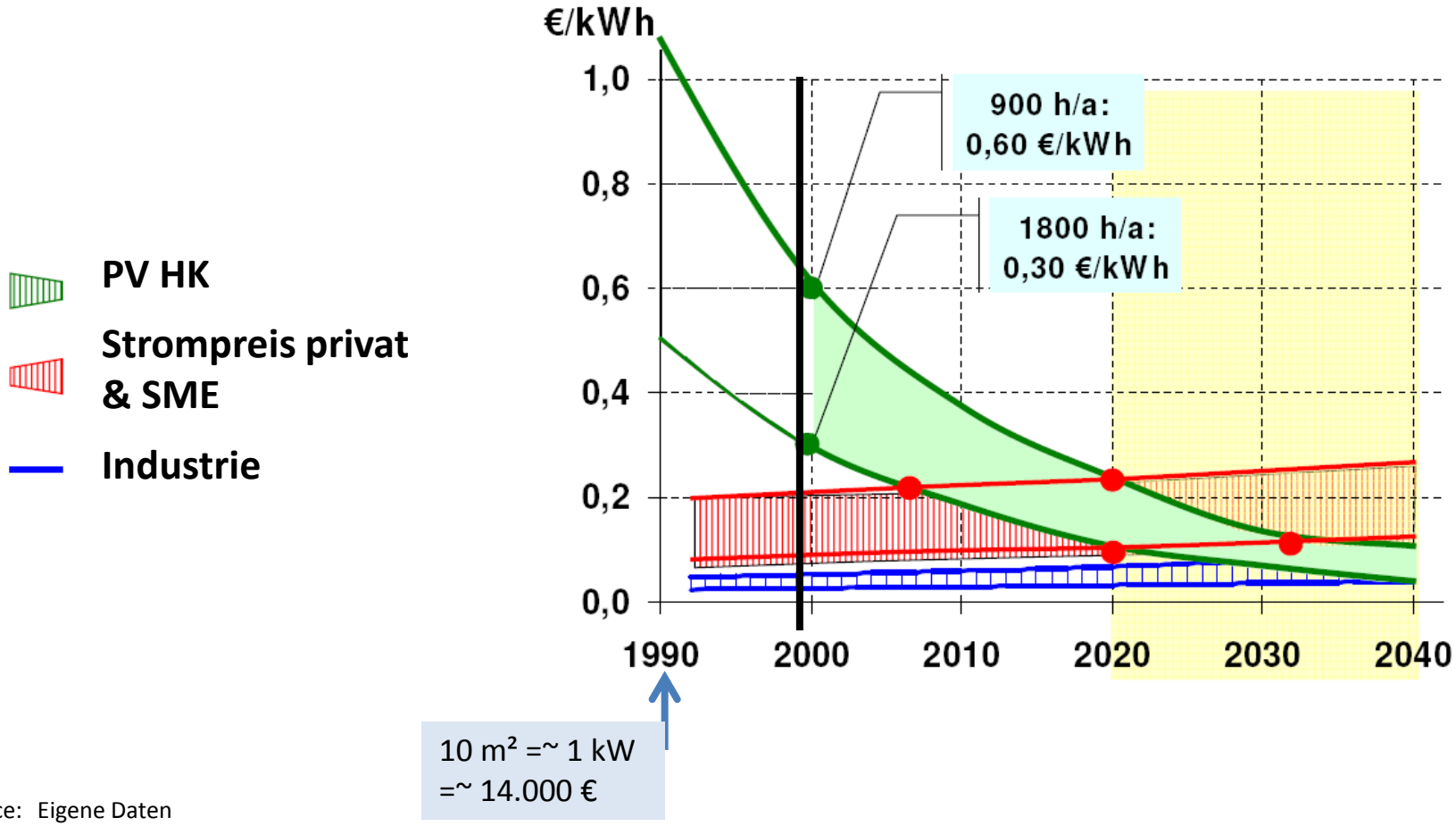
… der eigentliche Durchbruch

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

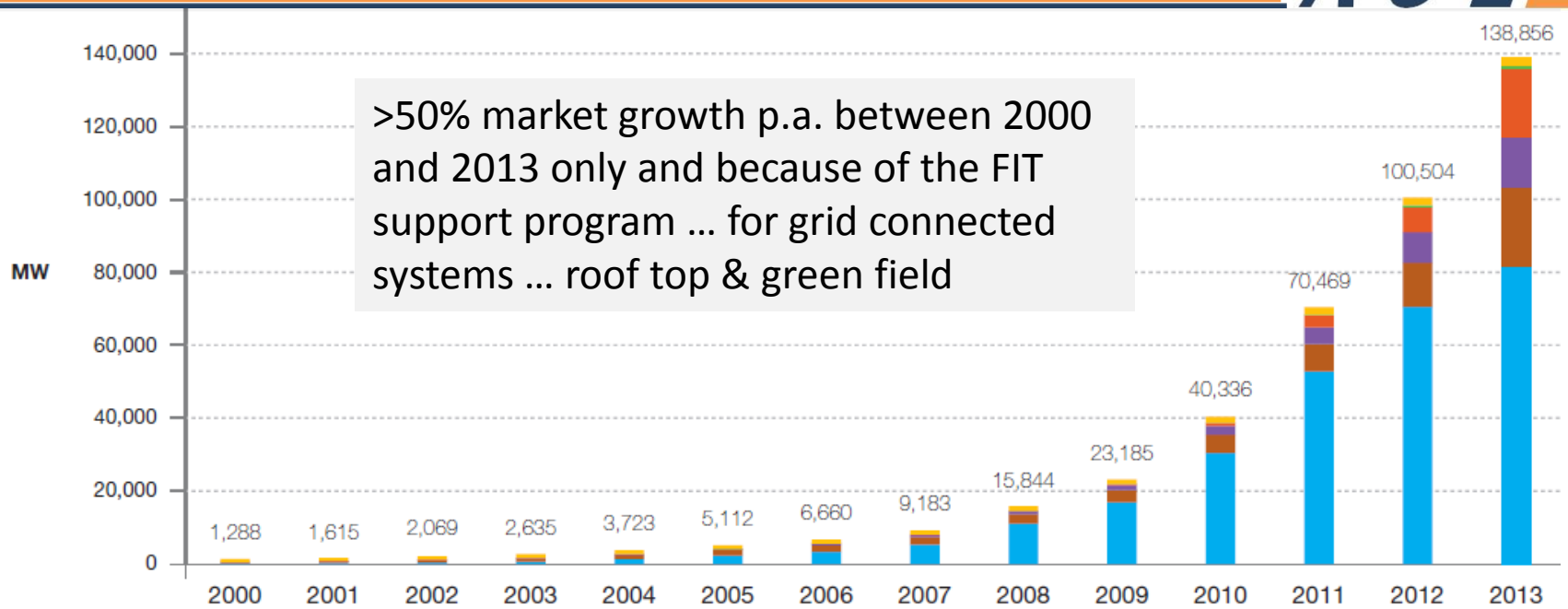
- **Erneuerbares Energie Gesetz (EEG)** oder FiT (Feed in tariff), das von Hans-Josef Fell und später mit Unterstützung von Hermann Scheer politisch umgesetzt wurde
- Kostendeckende Vergütung über (typisch) 20 Jahre inklusive „moderatem“ Gewinn der verschiedenen EE:
  # PV ~50 €ct/kWh
  # Wind on-shore ~8 €ct/kWh
  # + Bioenergie + kleine Wasserkraft …
- Degression gemäß Preisreduktion (für PV in den Anfangsjahren 5% p.a. in D)

„Grid parity“: PV HK = Strompreis



Source: Eigene Daten

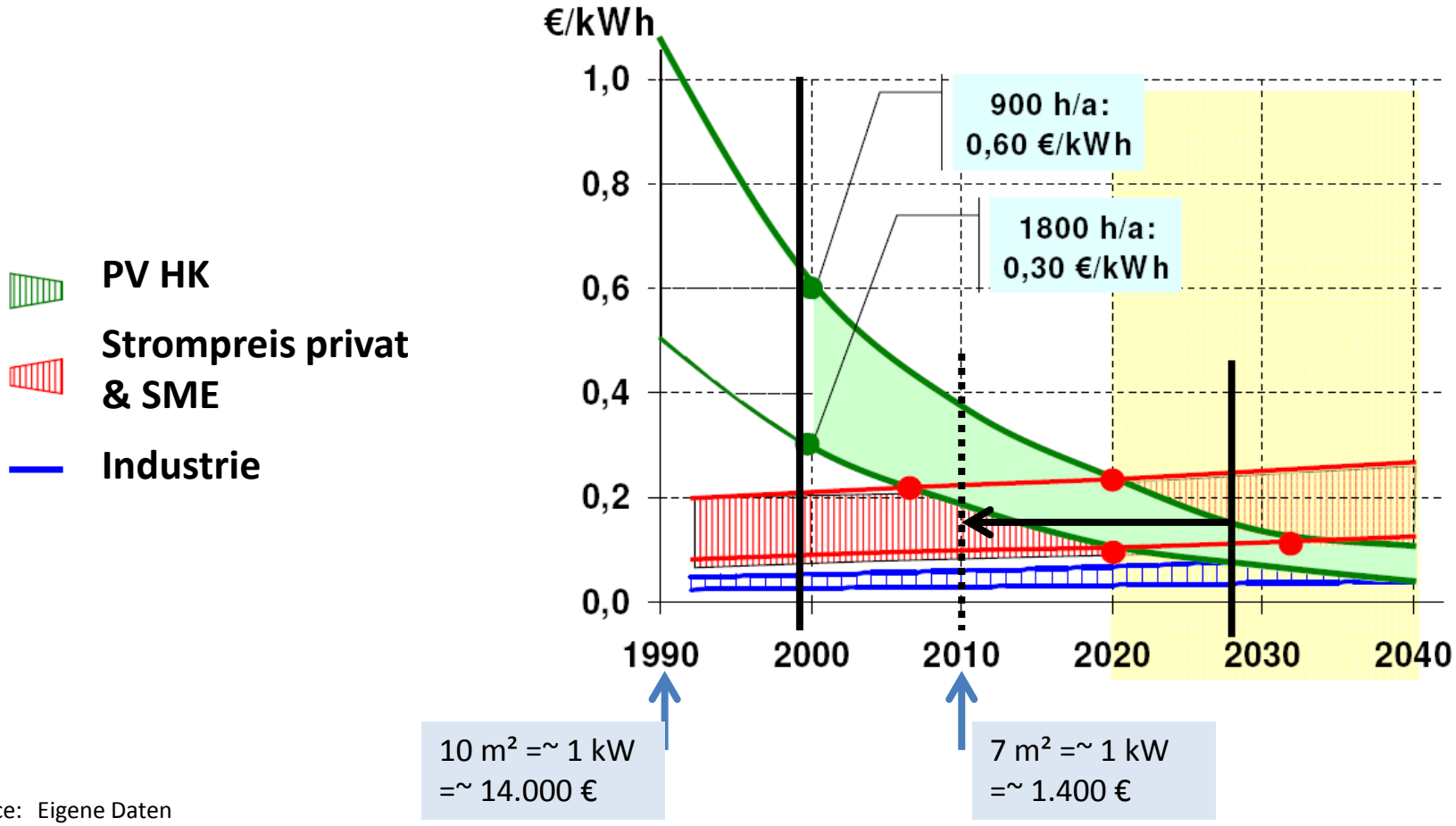
EPIA's historic market analysis in cumulative numbers



>50% market growth p.a. between 2000 and 2013 only and because of the FIT support program … for grid connected systems … roof top & green field

	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**
Delta [y2y]		327	454	566	1088	1389	1548	2523	6661	7341	17151	30133	30035	38352

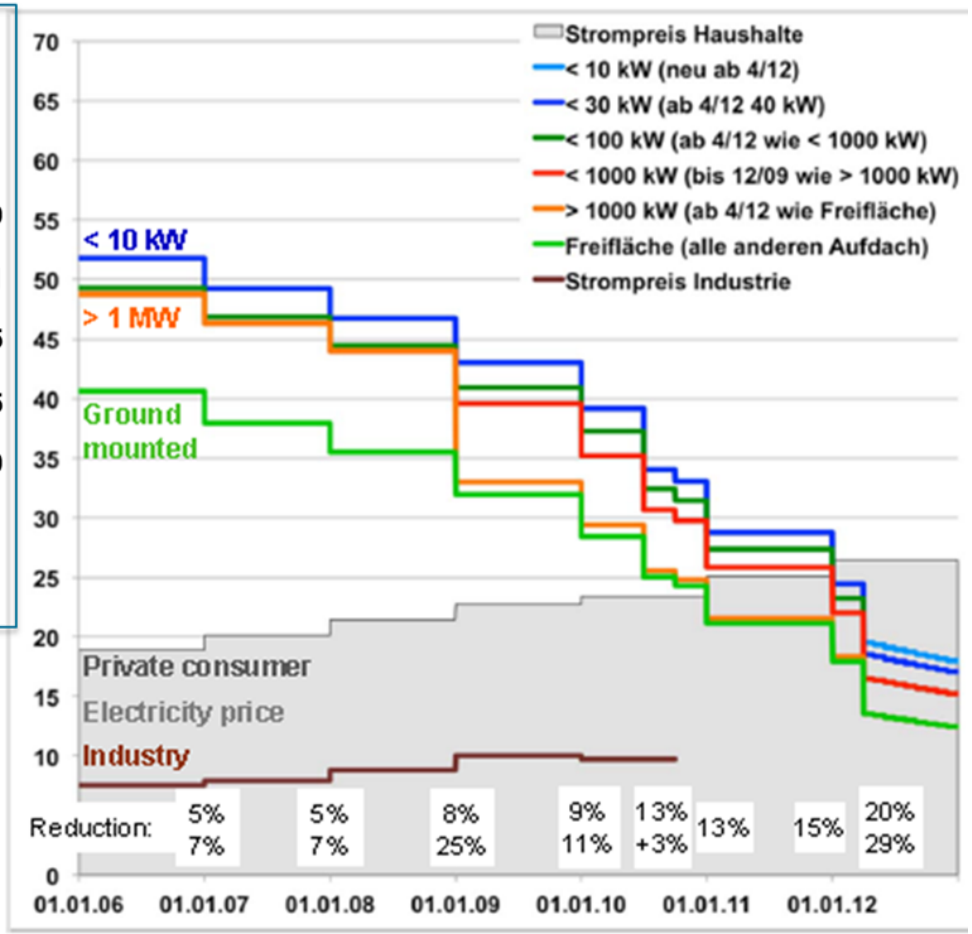
„Grid parity“: PV HK = Strompreis



Source: Eigene Daten

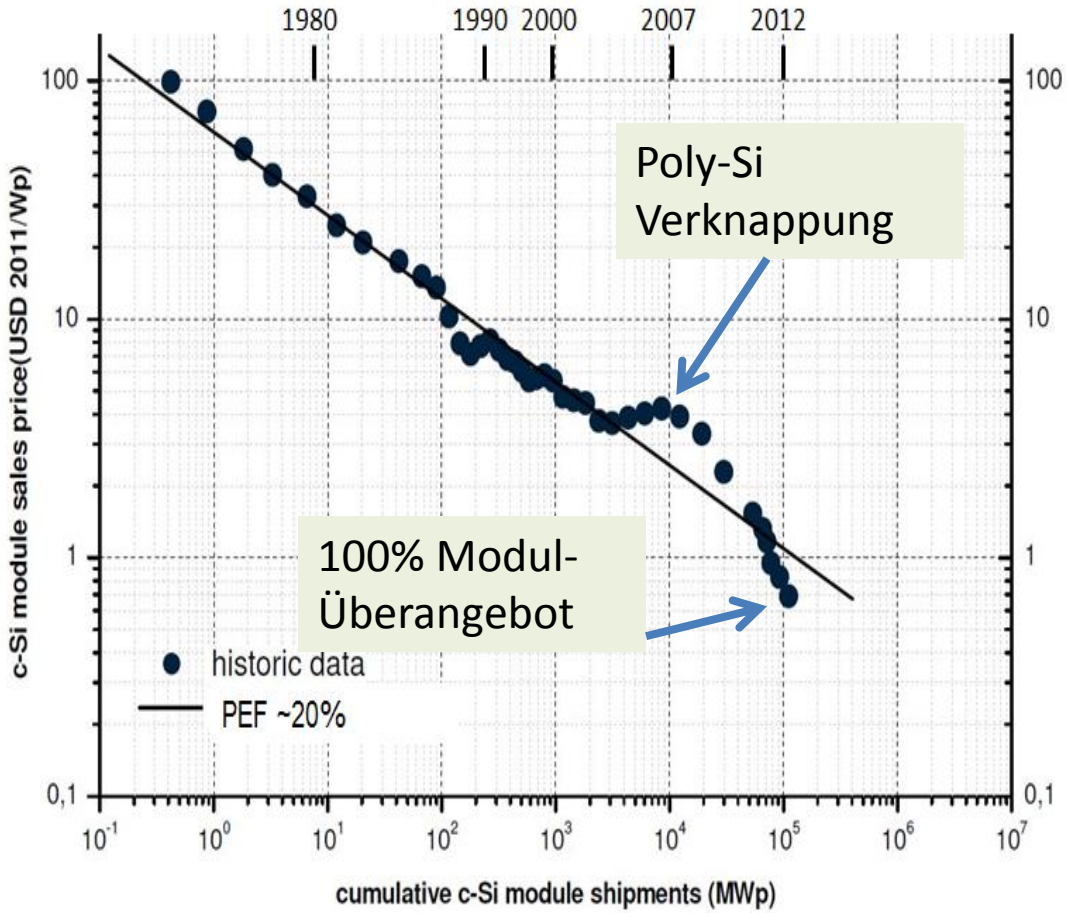
Strompreise und EEG-Vergütungen in Deutschland

October 2014		Feed-in tariff €ct/kWh	Jan 2006	April 2012	April 2013
		Roof top			
12,7	<10 kW	< 10 kW	51.80	19.50	15.9
12,3	<40 kW	< 30 kW**	51.80	18.50	15.1
11	<500 kW	< 100 kW	49.28	16.50	13.5
8,8	<500 kW	< 1000 kW	48.74	16.50	13.5
0	Nichtwohn und Freifl	< 10 MW	48.74	13.50	11.0
		Ground mounted			
			40.60	13.50	



Source: BMU, FhG-ISE, BMWi, unendlich-viel-Energie

Photovoltaik: Preis-Erfahrungs-Kurve



Source: ITRPV 2013

Spezifische Material-Kosten:

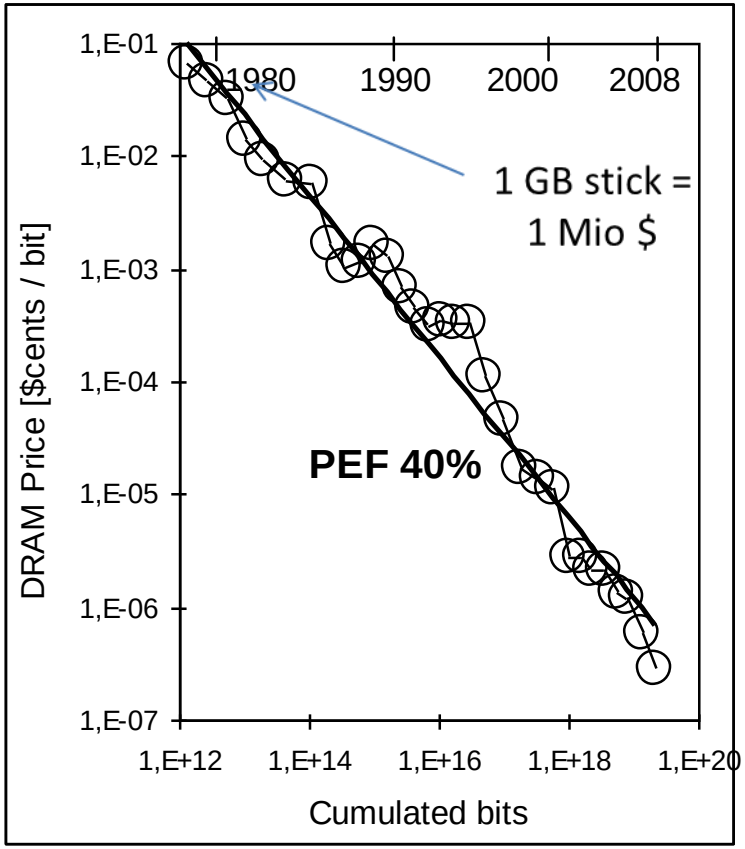
- Wafer Dicke 700 → 150µm
- Kerf Verlust 500 → 100µm
  → Gewicht 28 → 6 g/dm(2)
- Poly Si 60 → 20 $/kg
  → Mat. Kosten 1.68→ 0.12 $/dm(2)
- Effizienz 8 → 20%
  →**spec. Kosten** 2,10 → 0.06 $/W
  Reduction Factor 35!

Economy of scale & industrielle Fertigung

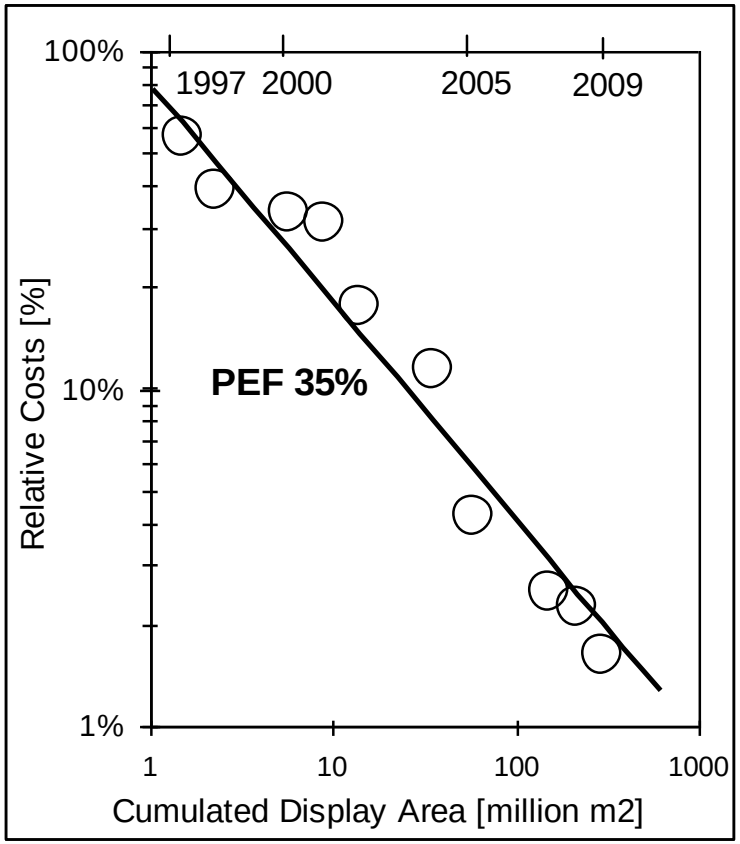
- **Produktionslinie** 1 MW → 200 MW
- **Automation & hohe Ausbeute**
- **Produktionsprozesse mit niedrigen spezifischen Kosten**

Preis - Erfahrungs - Kurven

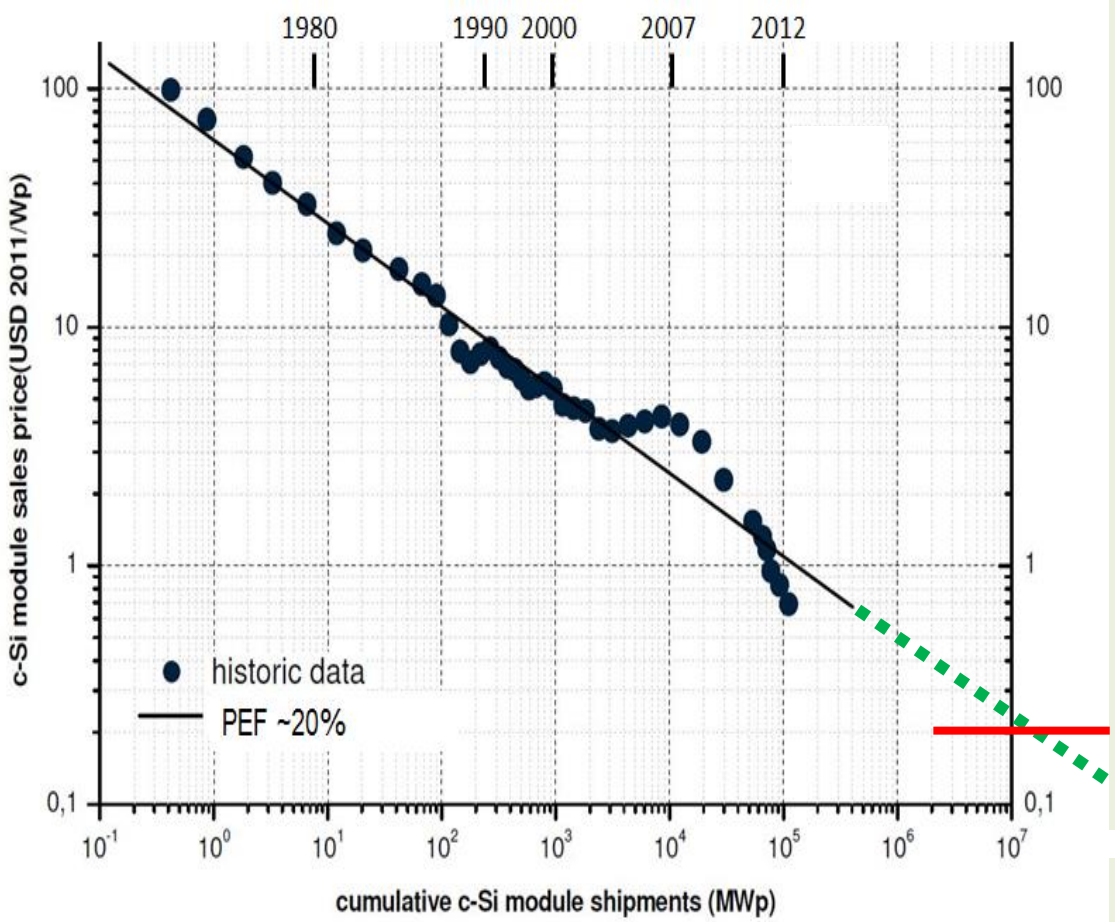
Halbleiter (DRAM)



Flach - Bildschirme



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**

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

- Erneuerbares Energie Gesetz (EEG) oder FiT (Feed in tariff)
- Kostenorientierte Vergütung über (typisch) 20 Jahre inklusive „moderatem“ Gewinn der verschiedenen EE:
  # PV ~50 €ct/kWh
  # Wind on-shore ~8 €ct/kWh
- Degression gemäß Preisreduktion (5% pa in D)
- …im Auftrag der europäischen EVU‘s neue Studie von Eurelectric …

Entwicklung verschiedener Stromge-stehungskosten von Eurelectric

Electricity generating cost [€ct/kWh] Eurelectric / VGB Power Tech	Today 2005	Tomorrow 2030	Day after tomorrow 2050
Fossile (coal, gas)	4 - 4.5	6-7	6.5 - 9
Nuclear (PWR, HTR, FBR)	4 – 6	3.5 – 7	3.5 - 6
Wind (off-/on shore)	9/7.5	8/7.5	8/7.5
Solar thermal	17	8	8
PV solar electricity	62		

Source: Eurelectric/VGB Power Tech (~2006/7)

… nachgewiesen waren 2005 für PV bereits 25-50€ct/kWh mit fallender Tendenz!

Electricity generating cost [€ct/kWh] Eurelectric / VGB Power Tech	Today 2005	Tomorrow 2030	Day after tomorrow 2050
Fossile (coal, gas)	4 - 4.5	6-7	6.5 - 9
Nuclear (PWR, HTR, FBR)	4 – 6	3.5 – 7	3.5 - 6
Wind (off-/on shore)	9/7.5	8/7.5	8/7.5
Solar thermal	17	8	8
PV solar electricity	62		

Source: Eurelectric/VGB Power Tech (~2006/7)

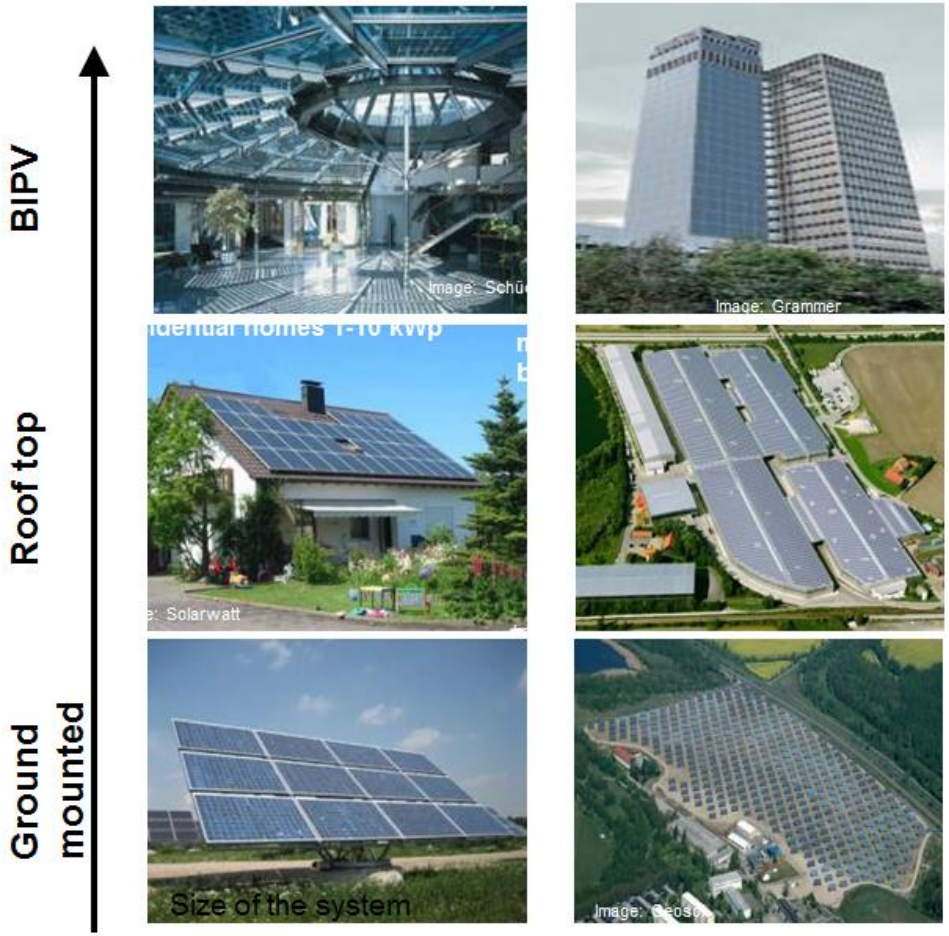
2010er

- **~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“

Major PV market segments today



kW ... MW

Private & commercial

kW ... MW

Private & commercial

100 kW ... GW

Commercial & industrial

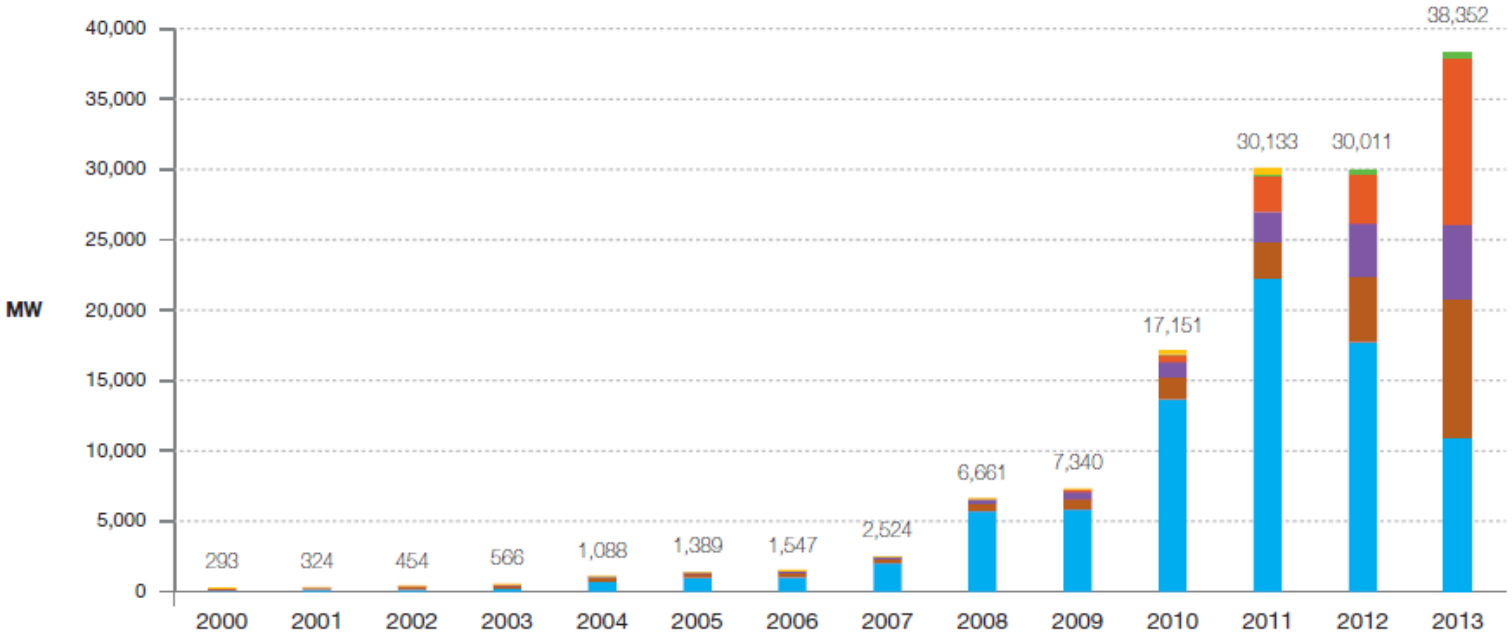
Source: BSW Solar, Stryi-Hipp

Bird‘s eye view to the largest (as of 2013: 290 MW AC) PV plant Agua Caliente in Arizona (2014 ~400 MW)

Source: First Solar

Area ~ 2 x 3 km²
@ 13% eta and FF 50%

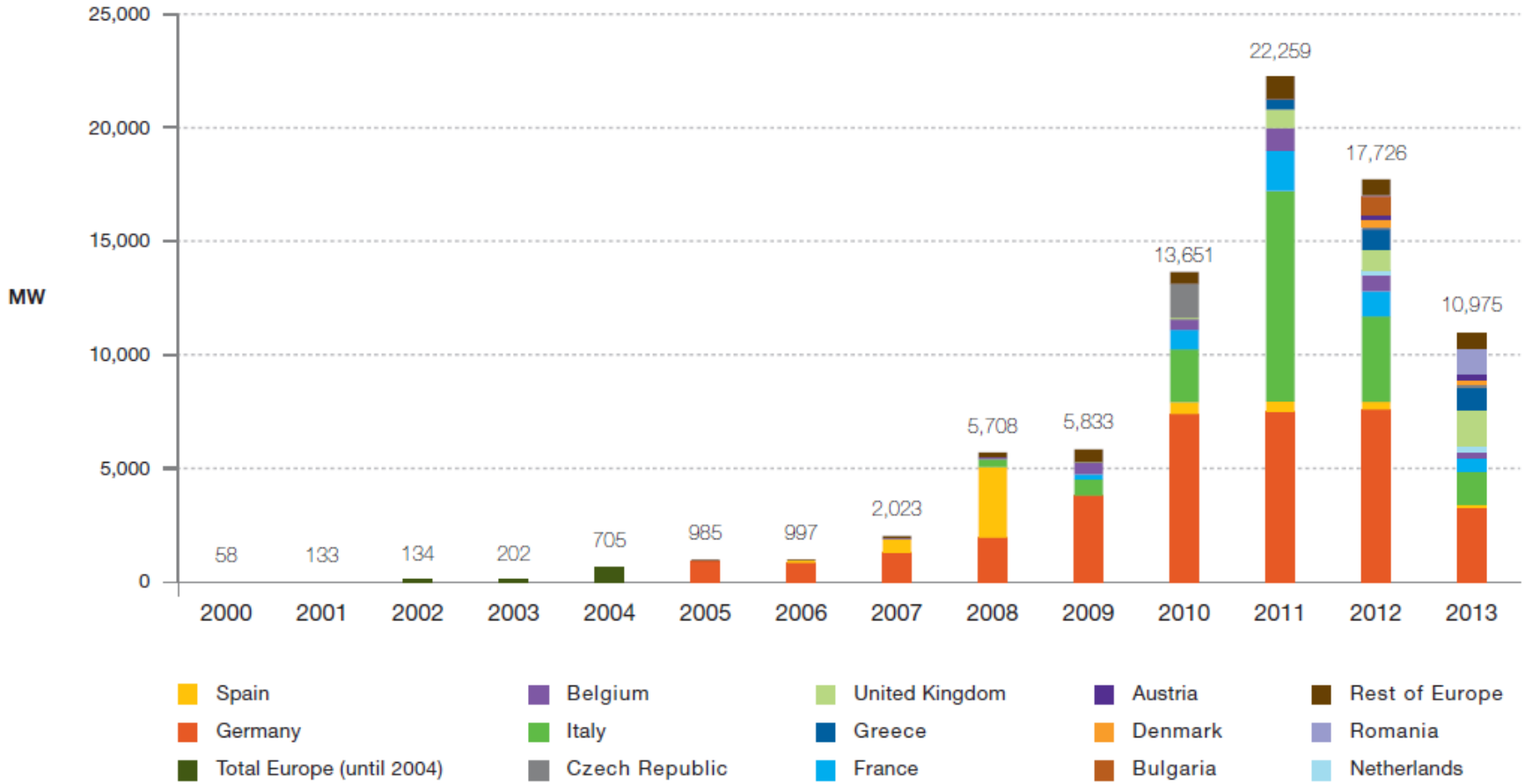
Neuinstallationen pro Jahr von PV weltweit



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
RoW	88	56	80	77	29	10	105	42	76	80	284	508	n/a	n/a
MEA	n/a	n/a	n/a	n/a	1	0	0	1	1	22	55	125	365	383
China	19	5	19	10	10	8	10	20	40	160	500	2,500	3,500	11,800*
Americas	2	3	30	48	61	82	110	166	306	500	1,082	2,181	3,774	5,362
APAC	126	128	190	230	282	304	325	271	530	745	1,578	2,562	4,646	9,833
Europe	58	133	134	202	705	985	997	2,023	5,708	5,833	13,651	22,259	17,726	10,975
Total	**293**	**324**	**454**	**566**	**1,088**	**1,389**	**1,547**	**2,524**	**6,661**	**7,340**	**17,151**	**30,133**	**30,011**	**38,352**

Source: EPIA GMO (2014)

Neuinstallationen pro Jahr von PV in Europa



Source: EPIA GMO (2014)

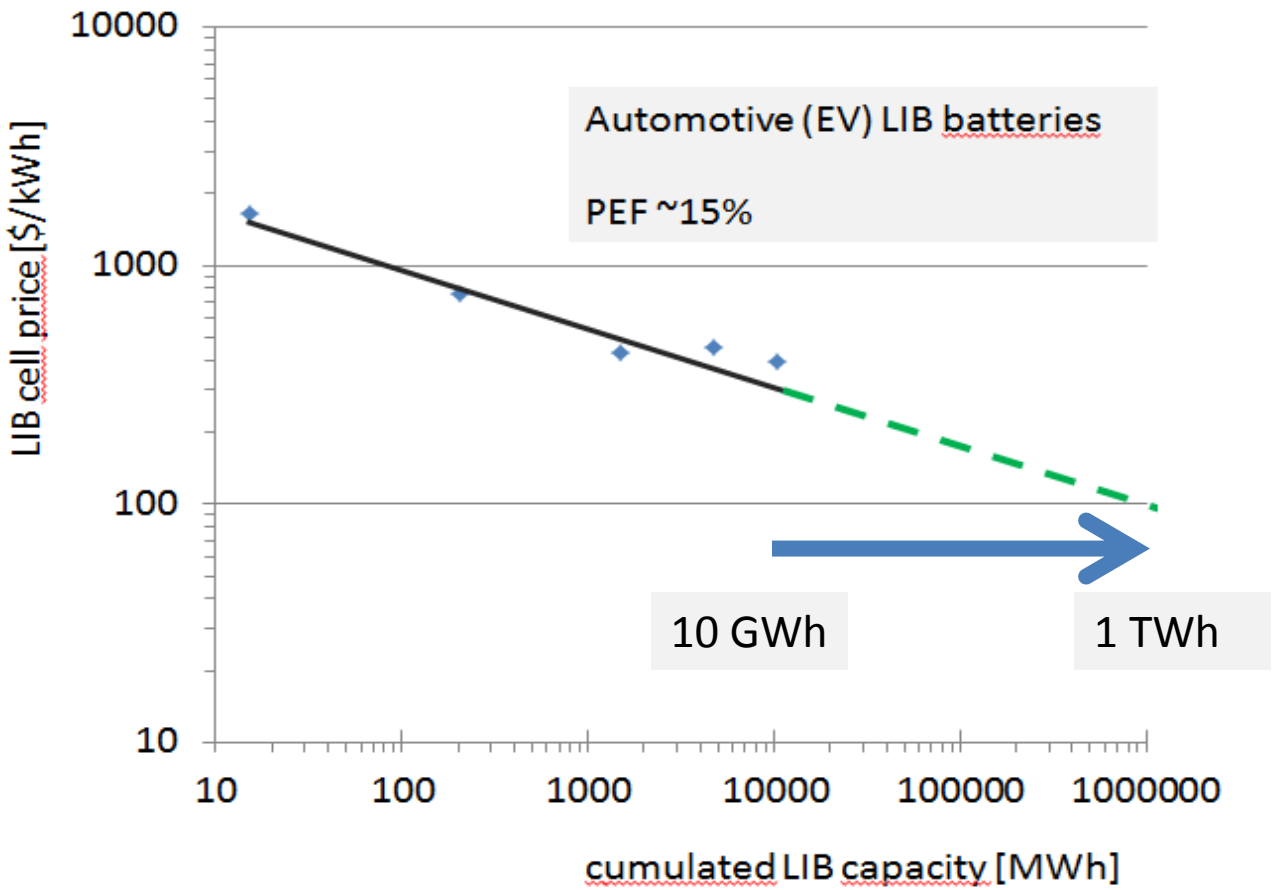
2020s

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

2030s

2040s

Preis-Erfahrungs-Kurve für LIB Batterien (automobile Anwendung)

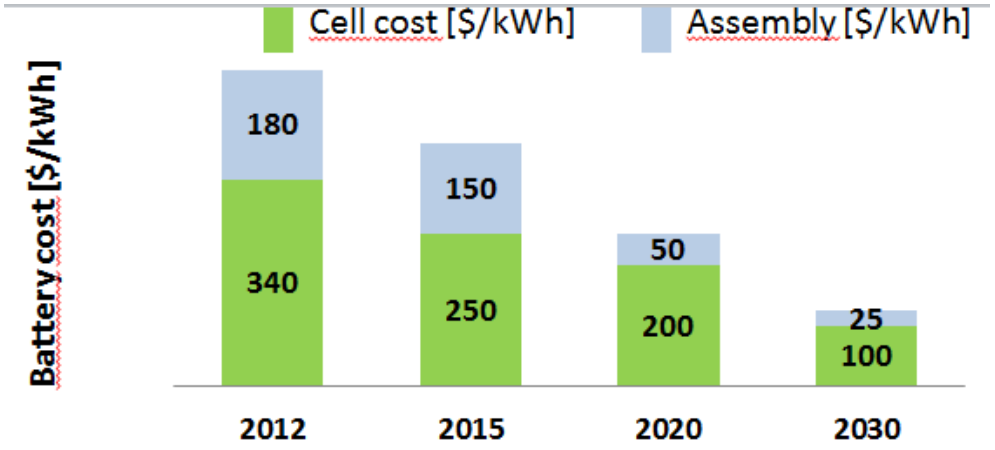


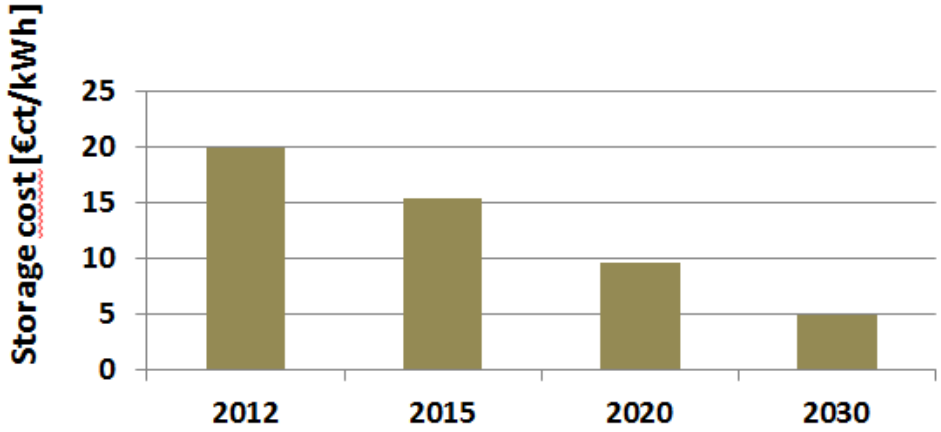
For comparison: PV between 2000 and 2010 had CAGR (cum) of 41%

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

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

LIB Zell- und Battery Kosten und resultierende Speicher-Kosten





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

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

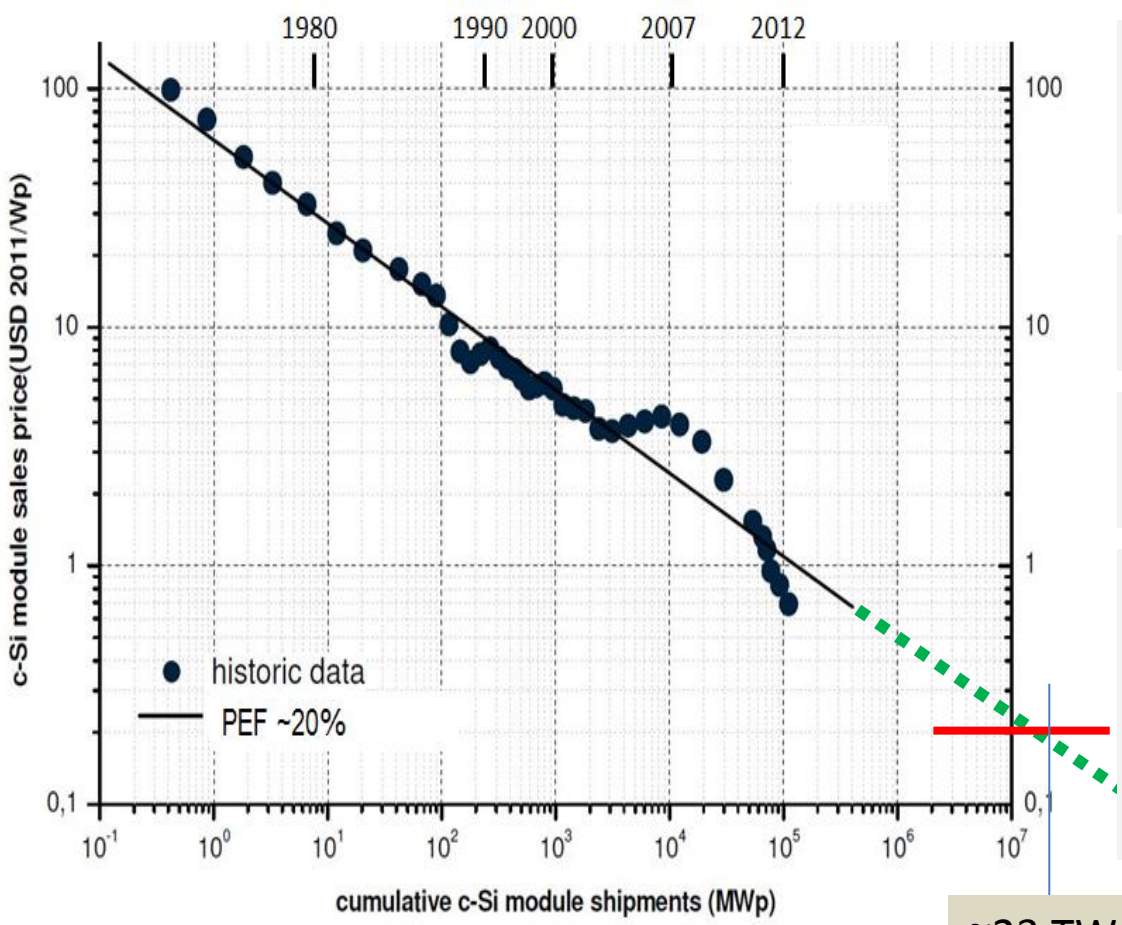
- 990 GW (4% pa)
- Mehr und mehr Länder demonstrieren Überlegenheit der EE
- Portfolio der EE & Speicherung von kWh bis TWh

… 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*
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



~23 TW

Source: ITRPV 2013

- From today's perspective the lower price limit for sj-Si-wafer modules is ~0.2$/W
- This limit is reached at a cumulative volume of ~23TW
- With realistic growth numbers this is reached in ~2050
- No material limitation at 1TW/a in the 2040s:
  poly-Si: 1.7 Mt (20kt→0.3 Mt)
  glass: 8 bn m² (today ~4 bn m² global production)

Potentielle Preisentwicklung für kleine c-Si PV Systeme („faire Preise“)

Jahr	Modul-effizienz	Preisreduktion mit PEF		Preisreduktion mit Effizienz-faktor	Summe
	[%]	Module [$/W]	Inverter [$/W]	BoS & Installation [$/W]	[$/W]
2010	15	1.5	0.2	0.8	2.5
2020	20	0.6	0.1	0.6	1.3
2030	25	0.35	0.05	0.5	0.9
~2050	25(+)	0.2	0.03	0.37	0.6

Source: Own data

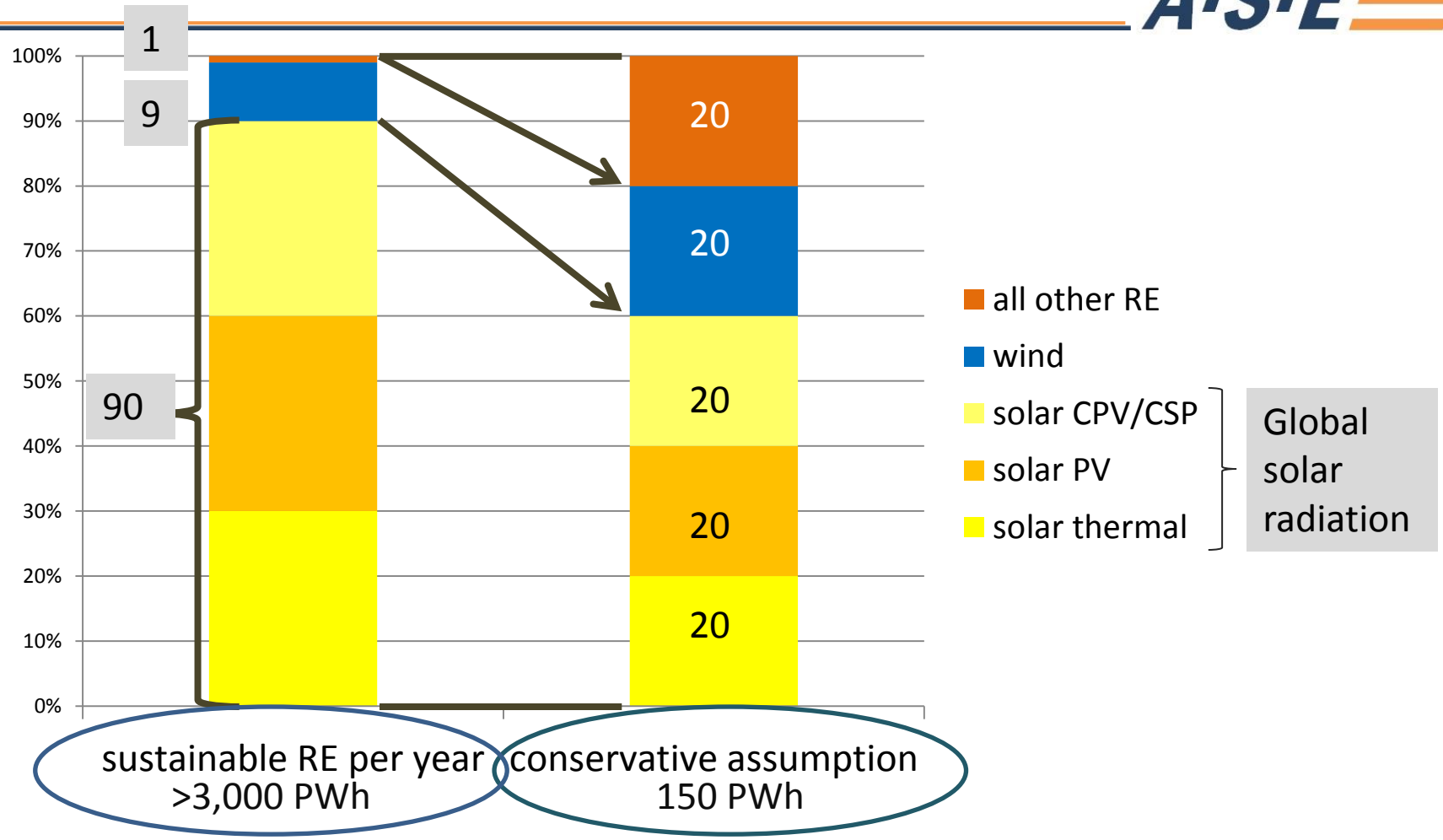
Potential Erneuerbarer Energien pro Jahr

	Technisches Potential [PWh/year]		Nachhaltiges Potential [PWh/year]	
Biomasse	224	~0,6%	28.0	~1%
Geother	202		6.2	
Hydro	45		3.4	
Solar	78,400	~98,8%	2,800.0	~90%
Wind	476	~0,6%	280 .0	~9%
total	79,347	~100%	3,117.6	~100%

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

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

Jährliches nachhaltiges Potential für EE und konservative Annahmen

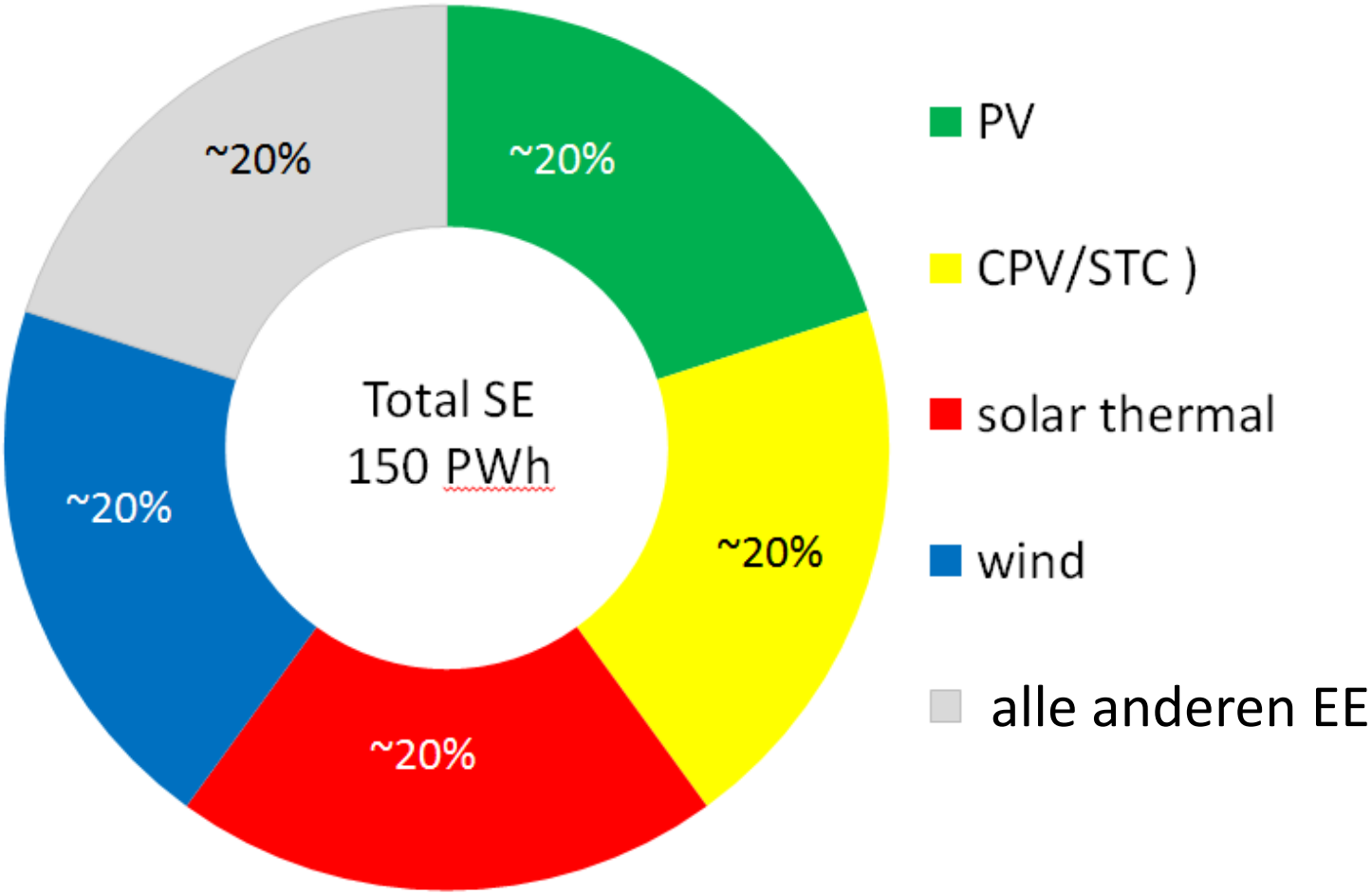


Source: WBGU, 2011 (left column);Winfried Hoffmann, own estimates (right column)

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
	mittelgroß (~MWh)	<5

Sekundär- Energie in 2050+ in vereinfachter Darstellung



A·S·E

Applied Solar Expertise

… und für alle, die mehr lesen wollen:

- Physik Journal, February 2014, W. Hoffmann „Perspektiven der Photovoltaik“

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

A·S·E Applied Solar Expertise

Vielen Dank!

ACKNOWLEDGEMENT:

Thanks to Christophe Pillot from AVICENNE ENERGY (Paris) for providing the raw market data for the LIB-battery products

C. Pillot, AVICENNE ENERGY, *Li-ion battery material market review and forecasts 2012-2025,* (2013), http://www.sdle.co.il/AllSites/810/Assets/c%20pillot-avicenne.pdf

contact: winfried@hoffmann-ase.de