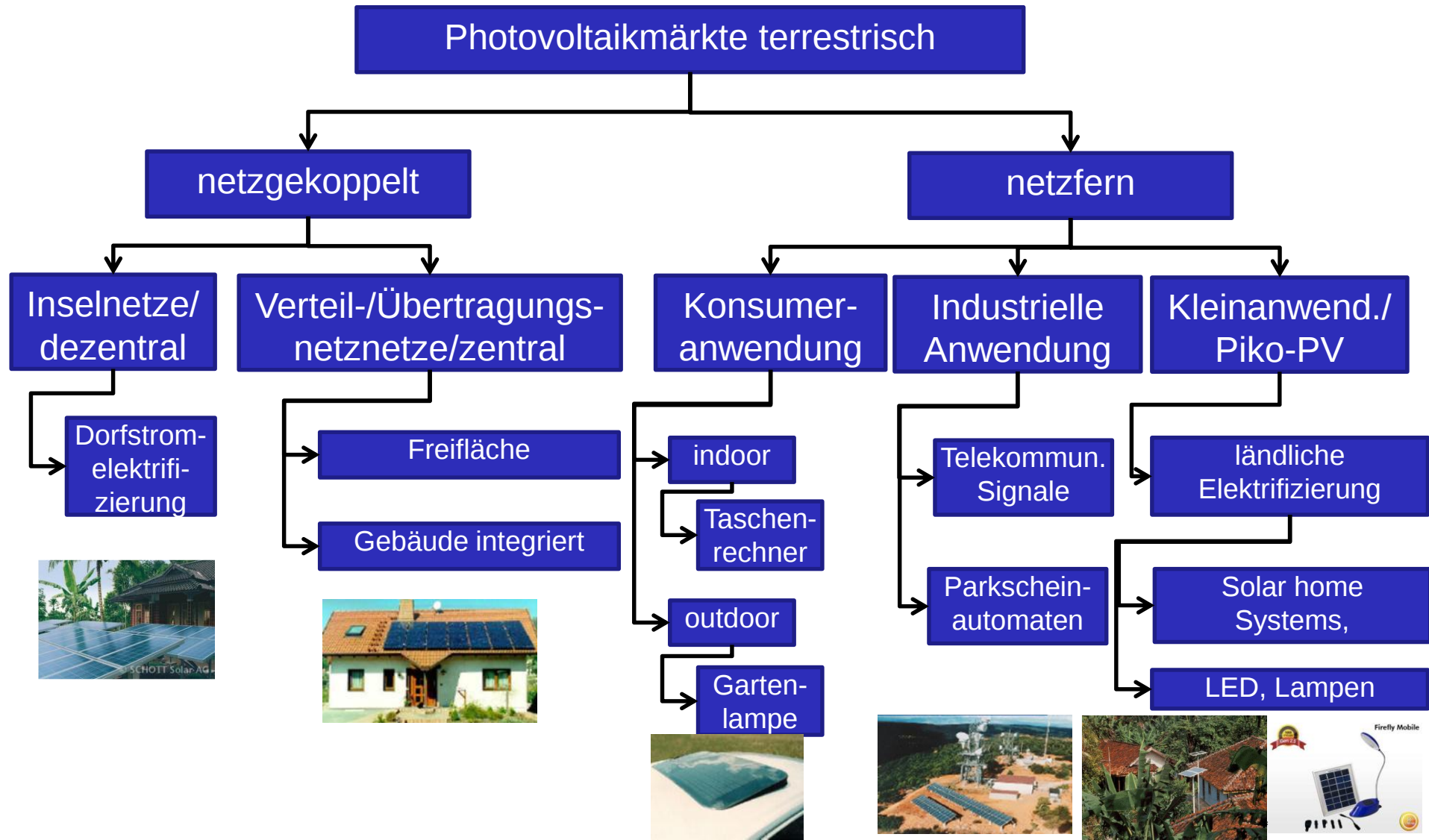


1.3. Photovoltaik Überblick

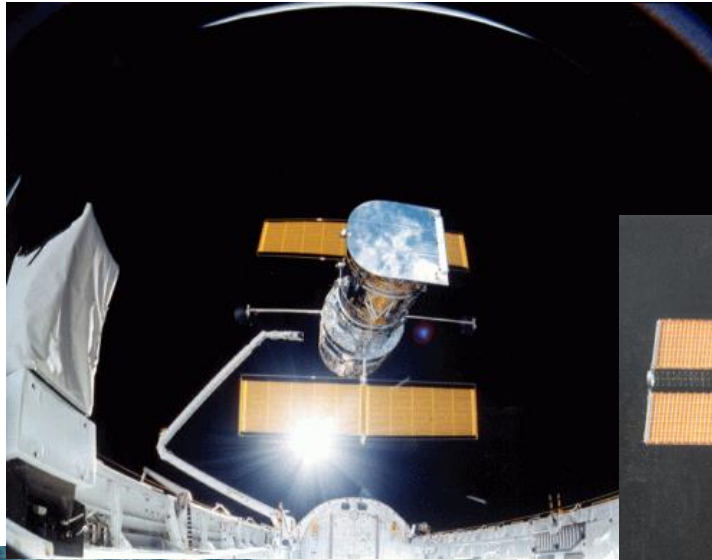
1.3.1. Kosten, Preise und Märkte



Photovoltaikmärkte im Weltall



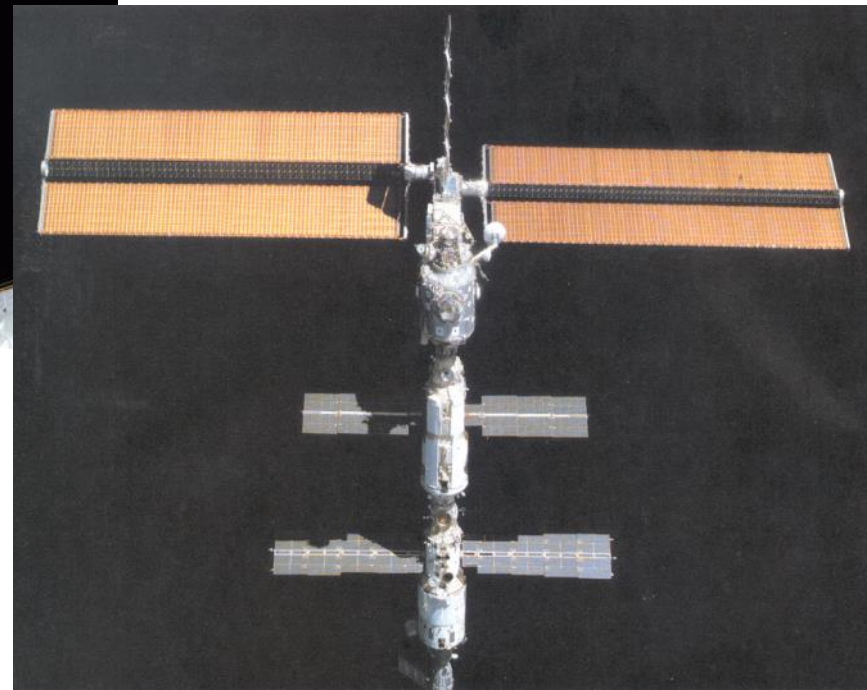
Source: SES ASTRA



Hubble Telescope
NASA/Smithsonian
Institution/Lockheed Corp.



Skylab
NASA/NREL PIX03532



International Space Station ISS
1. Ausbaustufe: 62 kW (+ 16 kW)
Si-cells = 14,5 %; Source: Photon
1/2001



Fortbildungsakademie Nordrhein-Westfalen in Herne: 1 MW

Source: Photon 2-2000

Eine der derzeit größten Solarparks Agua Caliente (Arizona/USA)

- Leistung: 290 MW
- PV-Module: CdTe
- Feldgröße: 971 ha
- Feste Bodenmontage
- 1,8 Mrd. \$ (6,2 Mio \$/MW)



<http://www.gigaom.com>

→ Über 98% aller PV AnlGen weltweit sind im netzgekoppelten Betrieb.

Ländlichen Elektrifizierung mit PV

Nichtelektrifizierte Haushalte weltweit (2005): 300 Millionen

→ Photovoltaisch erzeugte Elektrizität, in großen und kleinen Einheiten, an jedem entfernten Ort auf der Erde.

Verbesserungspotenziale durch Elektrifizierung:

- Einkommensmöglichkeiten (v.a. in der Landwirtschaft)
- Versorgung: Krankenstationen, Bildungseinrichtungen
- Substitution traditioneller Brennstoffe, Bewässerung
- Erzeugung neuer Märkte (Computer, das World Wide Web und Mobiltelefone- Information und Kommunikation)
- Sicherheit und politische Stabilität

Bsp.:

- effiziente LED Lampen, kombiniert mit preiswerter PV in neuen Batterien stimulieren den Markt für die sogen. Pico-PV Systeme (> 10W).
- Etwas größere “solar home systems” (10-200W) werden netzfern installiert

→ “...In Bangladesh, for example, more than 2.1 million systems had been deployed by March 2013. This development is changing the energy-access dynamic in Bangladesh and turning rural villages into thriving centres of commerce....”
(Quelle: Renewables 2013 GLOBAL STATUS REPORT, <http://www.ren21.net>)

Ist Photovoltaikstrom teuer? --> „Bierdeckelrechnung“

PV-Generator Verbunden mit dem elektrischen Netz:
Spitzenleistung: 1 kW_p (ca. 10 m² Modulfläche):

Investitionen (1999)	6500 Euro
Heute (2013)	1600 Euro
Finanzierung	Faktor 2

Erwartung pro Jahr?

Nebenrechnung pro m²: 1kW x 8760 h x 0,5 x 0,5 x 0,5 = ca. 1000 Sonnenstunden

Nacht, Schrägeinfall, Wolken

Energieproduktion (in Deutschland)	800 kWh pro Jahr
Lebensdauer	20 Jahre
Kosten der Stromproduktion 1999	ca. 0,80 Euro per kWh
Kosten der Stromproduktion 2013	ca. 0,20 Euro per kWh

(aber stark abhängig von Größe, Standort etc.)

Kosten/Preisdiskussion

Unterscheidung:

Kosten/Preise, Module/Systeme, Investitionskosten/Stromgestehungskosten

Stromgestehungskosten hängen ab von:

- Anschaffungsinvestitionen für Bau und Installation der Anlagen
- Finanzierungsbedingungen, Laufzeiten und Renditen
- Betriebskosten während der Nutzungszeit der Anlage
- Einstrahlungsangebot
- Lebensdauer der Anlage

Was bedeutet „grid parity“?

Grid Parity:

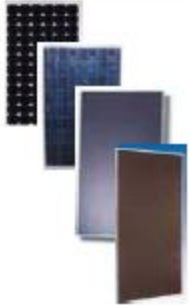
1. Stufe PV Strom = Haushaltsstrompreis (in D 2012, abhängig vom Strompreis)
Achtung: Verteilung, Steuer, Konzessionsabgaben stecken nur im Haushaltsstrompreis
2. Stufe PV Strom = Industriekundenpreis (in D 2020)
3. Stufe PV Strom = Erzeugungskosten konv. Energie (in D 2025 (ca. 6ct/kWh))

In D: Bedeutung des Eigenverbrauchs nimmt zu.

From PV module to PV system



PV modules



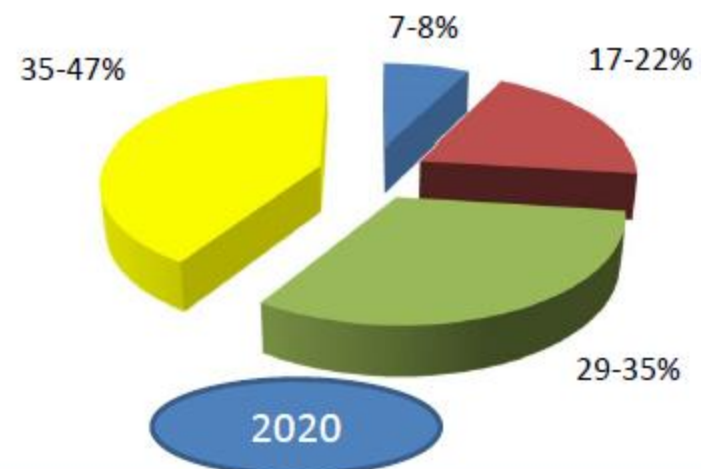
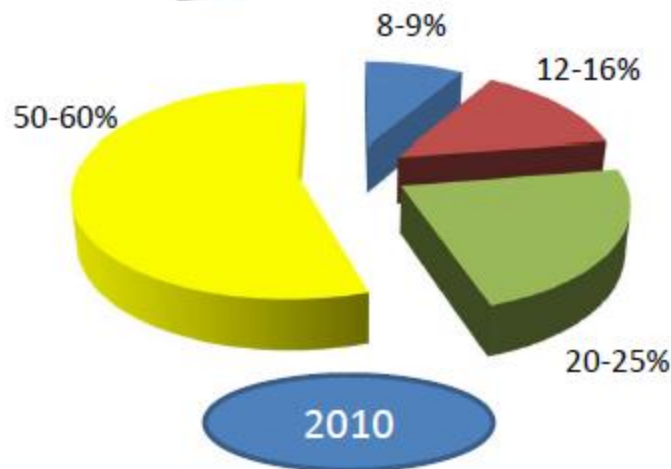
PV inverter



Balance of system

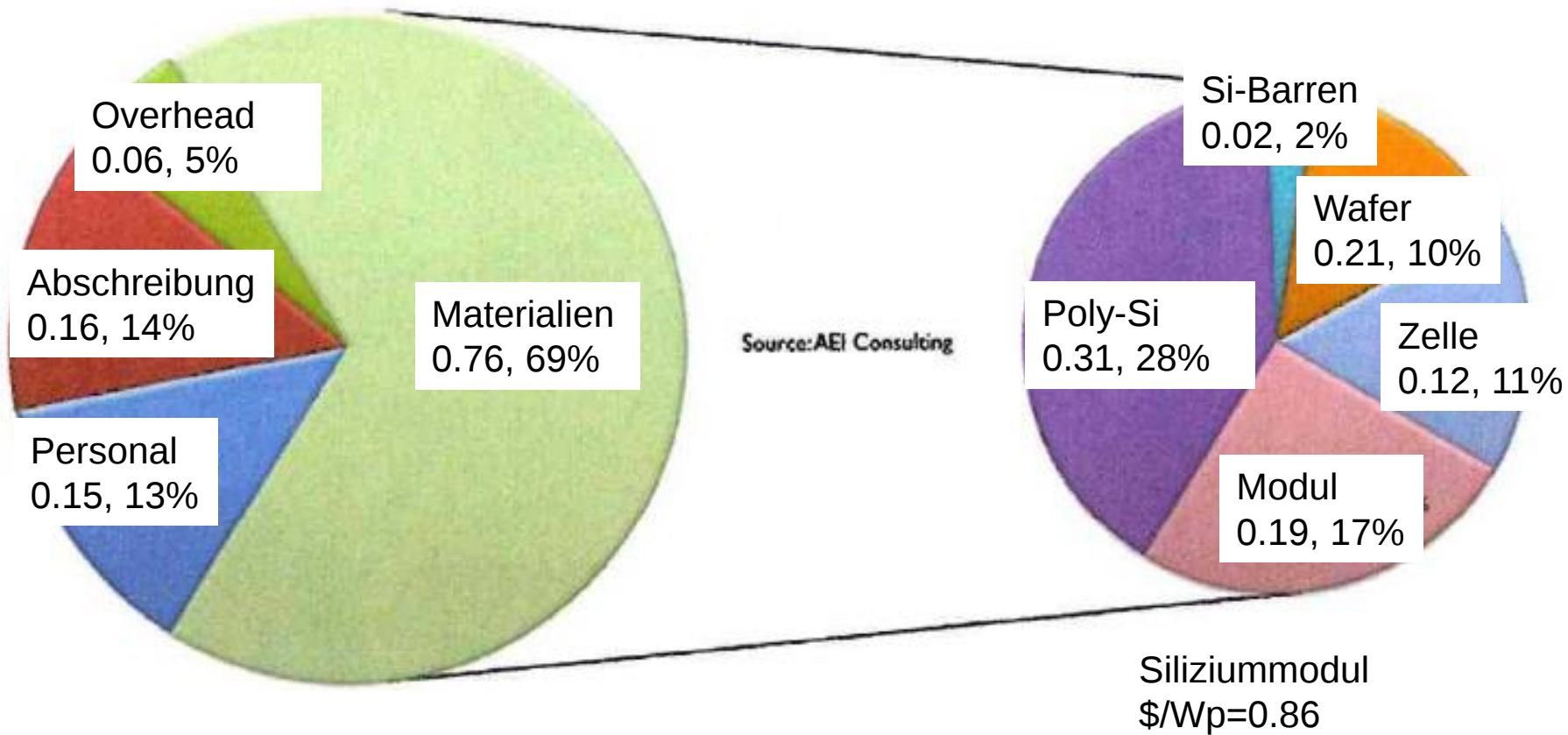


Installation



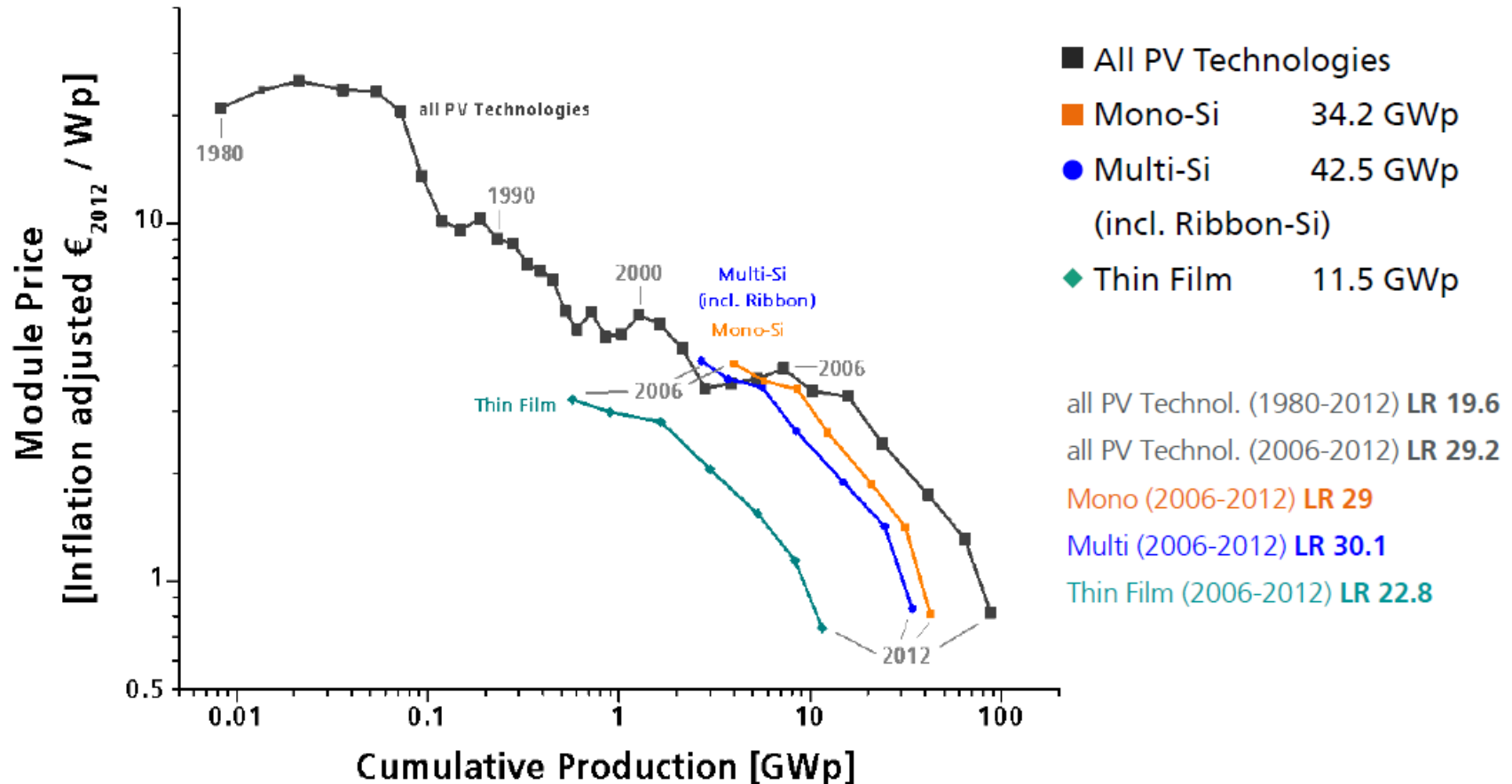
Die Modulpreise sinken stärker als die anderen Kosten. Damit verschieben sich die Anteile der verschiedenen Kostenarten des PV Systems.

c-Si Modulproduktionskosten (\$/Wp)



Quelle: Photovoltaics, 2/2012, AEI Consulting, 2012

Preislernkurve: Module



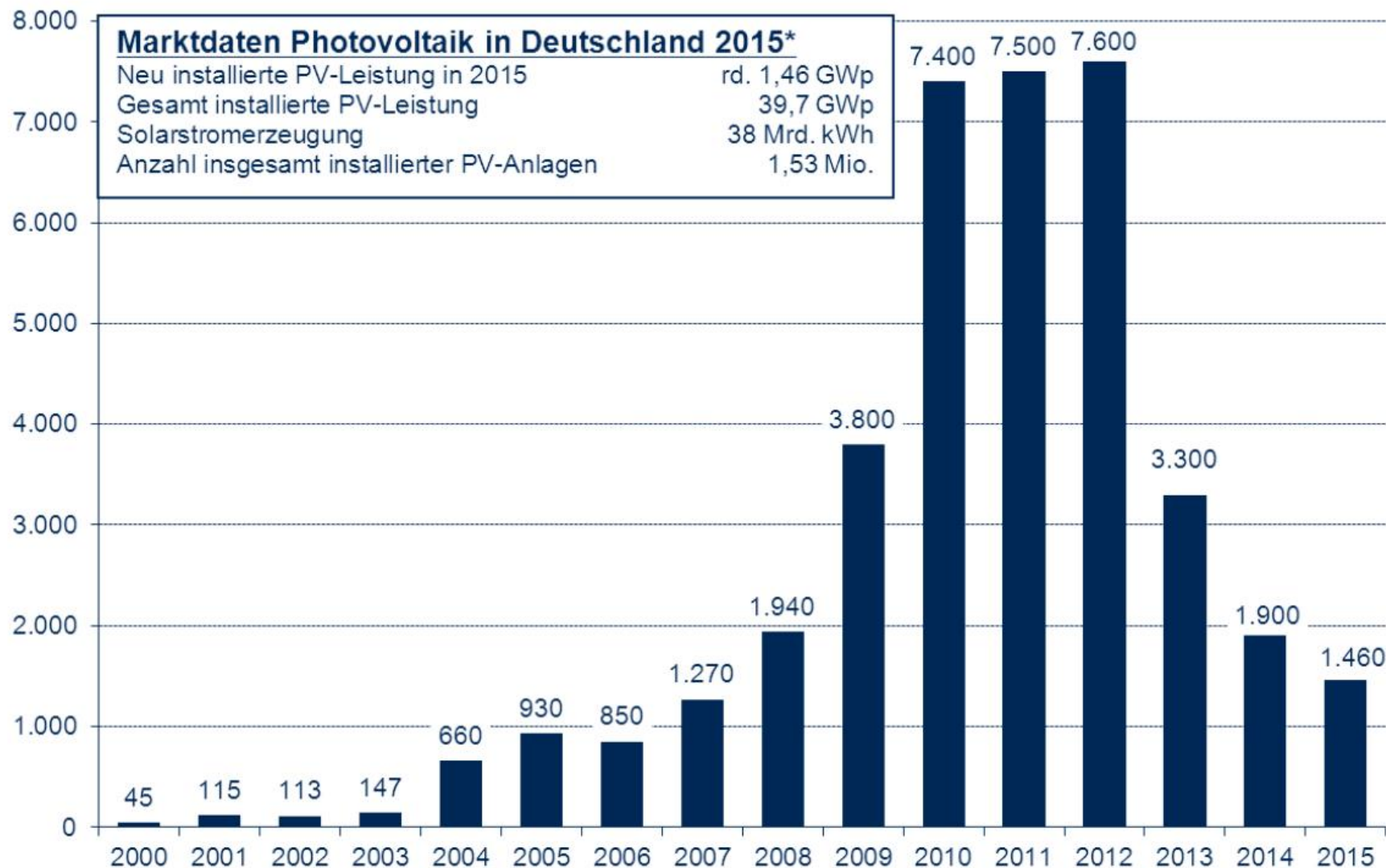
Data: Navigant Consulting; EUPD module price (since 2006) Graph: PSE AG 2012

Lernkurve in doppeltlogarithmischer Darstellung: über Jahrzehnte ca 21% Preisreduktion bei Verdoppelung der installierten (kumulierten) Kapazität.

Source: PSE AG/Fraunhofer ISE, Datenquelle: Strategies Unlimited/Navigant Consulting

Marktdaten Photovoltaik in Deutschland 2015*

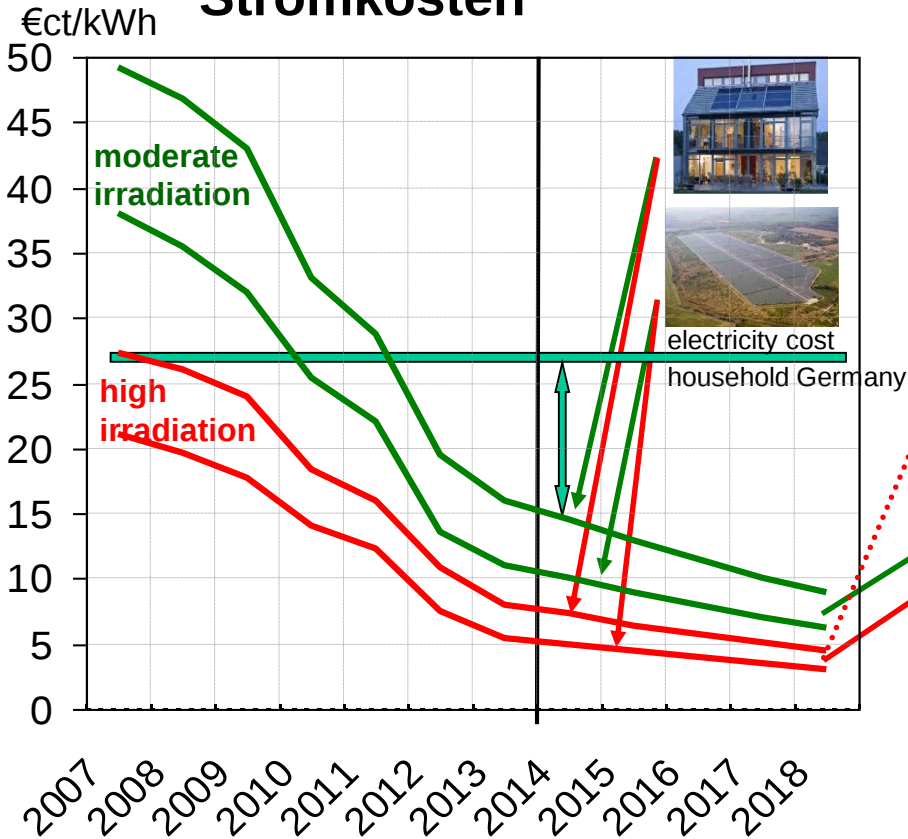
Neu installierte PV-Leistung in 2015	rd. 1,46 GWp
Gesamt installierte PV-Leistung	39,7 GWp
Solarstromerzeugung	38 Mrd. kWh
Anzahl insgesamt installierter PV-Anlagen	1,53 Mio.



* Werte gerundet, Solarstromerzeugung vorläufig
 Quelle: BSW-Solar, BNetzA, EEX, AGEB; Stand 1/2016

Solare Stromkosten und Anwendungspotenzial

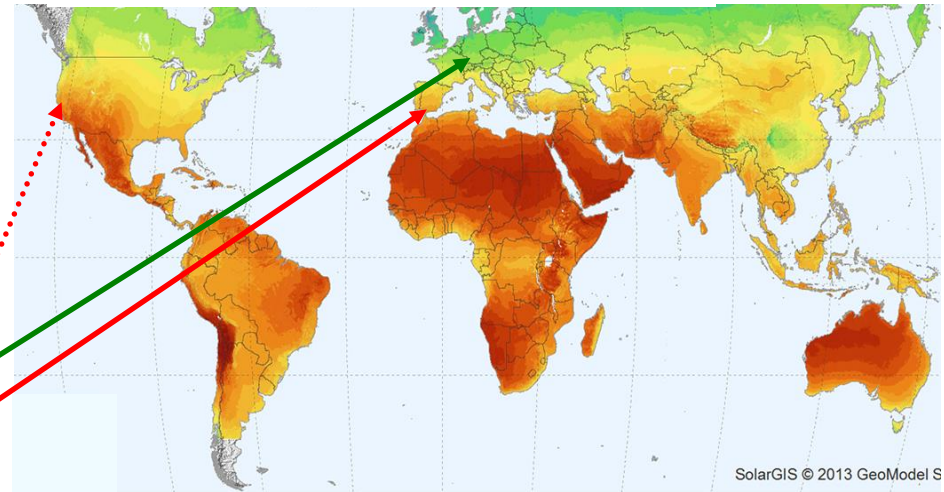
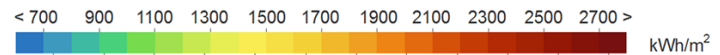
Stromkosten



* feed-in tariff according to the Renewable Energy Law (EEG)

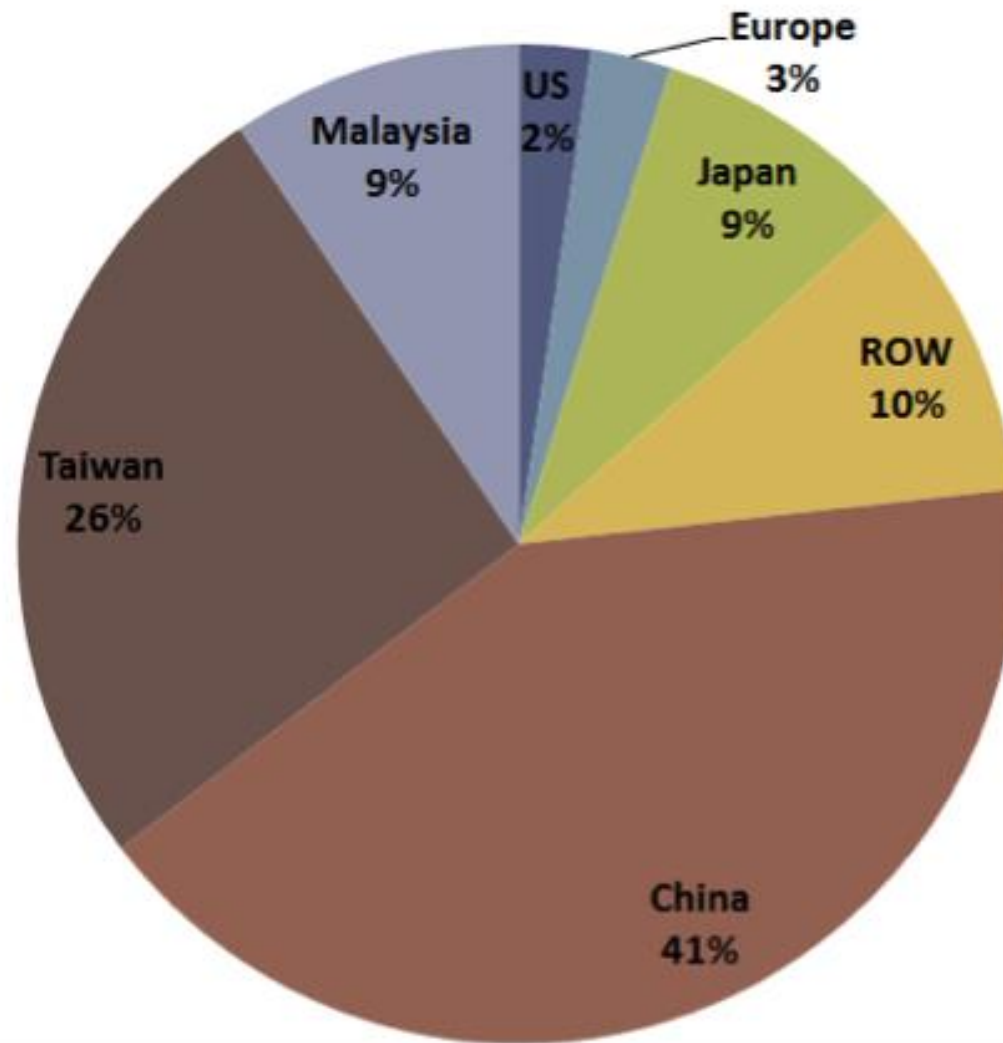
Einstrahlungsbedingungen

annual average global horizontal irradiation (kWh/m²)



- 2013: Die Photovoltaik ist an bestimmten Standorten wettbewerbsfähig.
- Wie können die Kosten den Preisen folgen? → Innovationen

2014: PV Regionale Verteilung der Produktion (gesamt 39,2 GWp)



Source: Paula Mints, SPV Market Research
<http://www.renewableenergyworld.com>, downloaded March 30, 2015

1.3.2. Marktöffnungsmaßnahmen

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

(verabschiedet am 25.02.2000, Novelle 2003/2007/2008/2010/2011/2012)

- Einspeisevorrang
- Strom aus PV-Anlagen muss mit 0,99 DM/kWh über eine Periode von 20 Jahren vergütet werden (2000)
- Dynamische Anpassung der Vergütungssätze

→ Sehr erfolgreiche Marktstimulation in Deutschland

Vergütungssätze Cent/kWh - Feste Einspeisevergütung (Kleinanlagen bis einschl. 500 kWp):

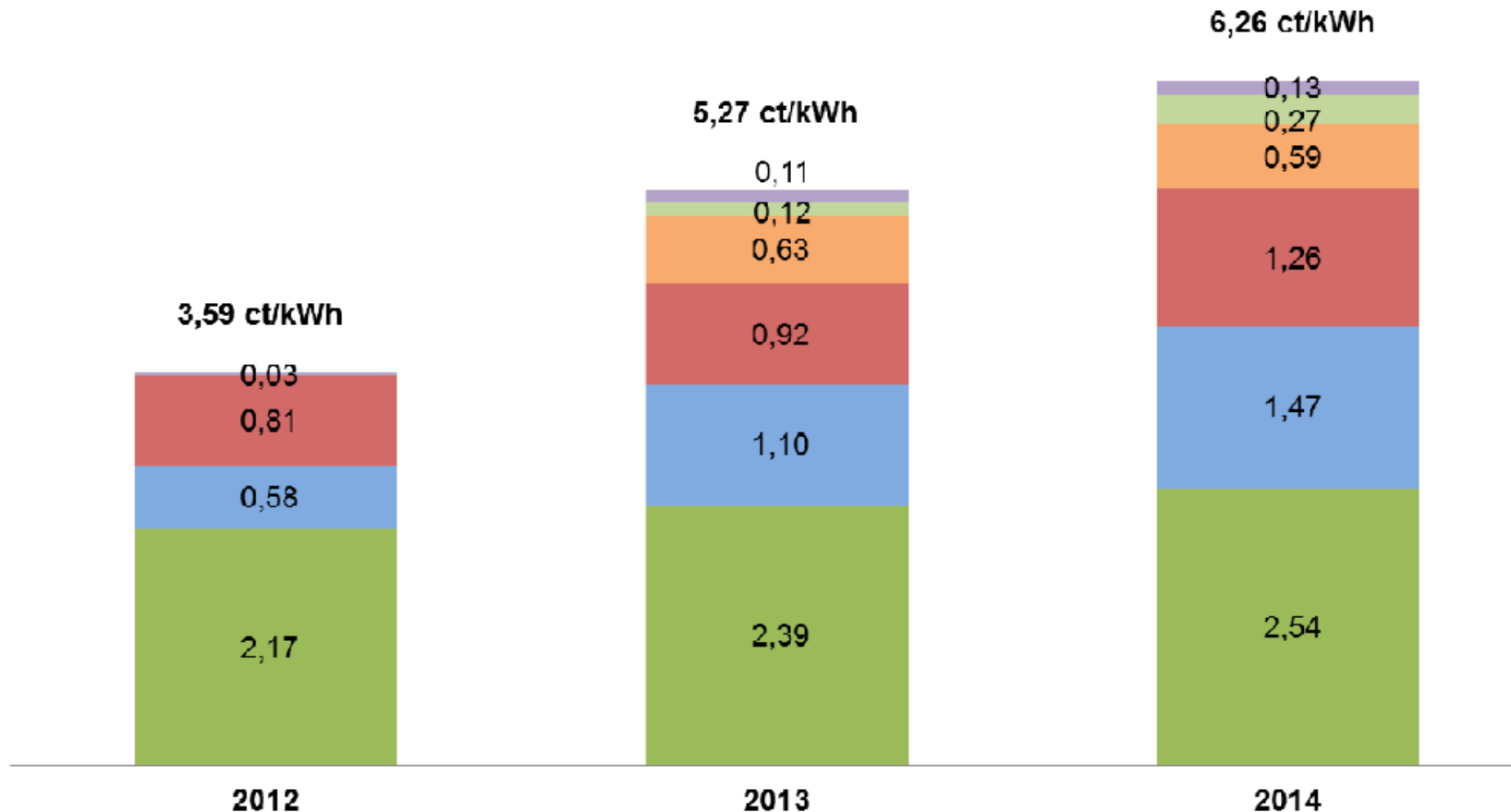
Inbetriebnahme	Dachanlagen			Anlagen auf Nichtwohngebäuden im Außenbereich und Anlagen auf Freiflächen bis 500 kWp
	bis 10 kWp	bis 40 kWp	bis 500 kWp	
Degression ***	0,25%			
ab 01.05.2015	12,434734	12,093388	10,815780	8,611663
Rundung	12,43	12,09	10,82	8,61

Quelle: BNA

Struktur der EEG Umlage

Entwicklung der reinen Umlage und der Steigerungsfaktoren 2012-2014

- Reine Förderkosten
- Rückgang Börsenstrompreis
- Industrieprivileg
- Nachholung aus Vorjahr
- Liquiditätsreserve
- Marktprämie

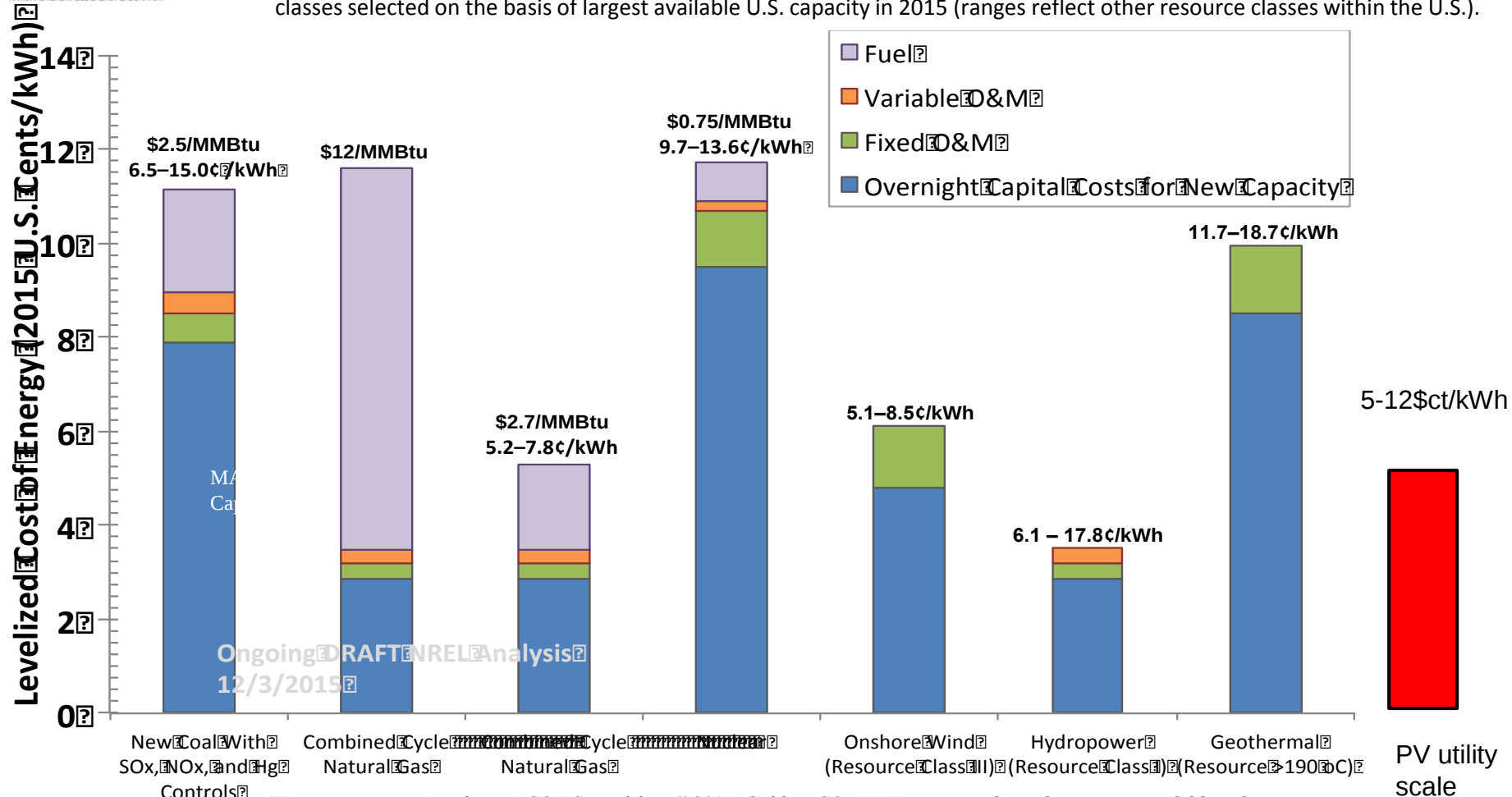


Vergleich der Stromgestehungskosten (LCOE) für verschiedene Energieoptionen

Estimates of Electricity Production Costs From New Capacity

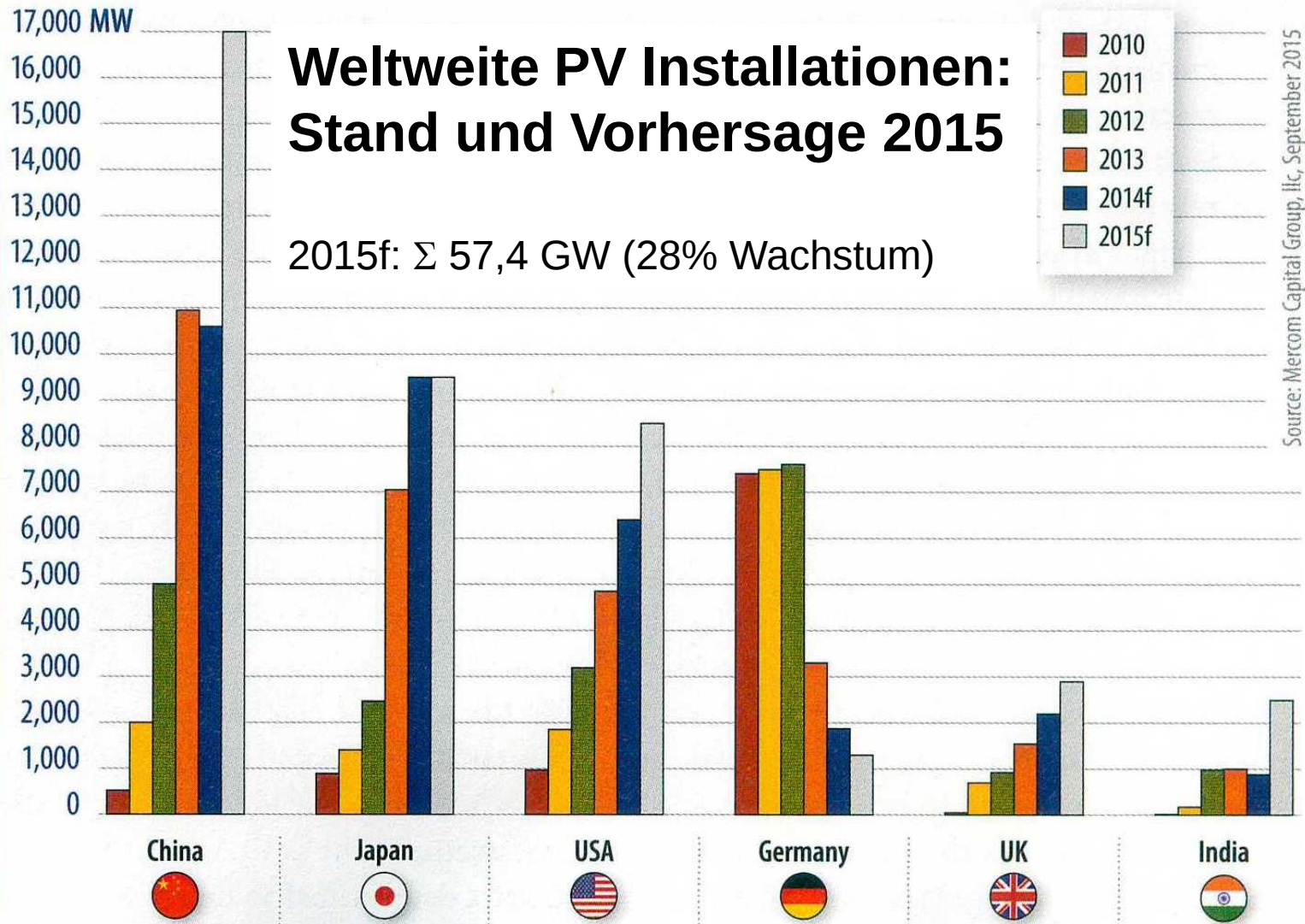
Representative fuel-based capital and O&M costs are without carbon capture and sequestration (CCS). Renewable resource classes selected on the basis of largest available U.S. capacity in 2015 (ranges reflect other resource classes within the U.S.).

December 3, 2015

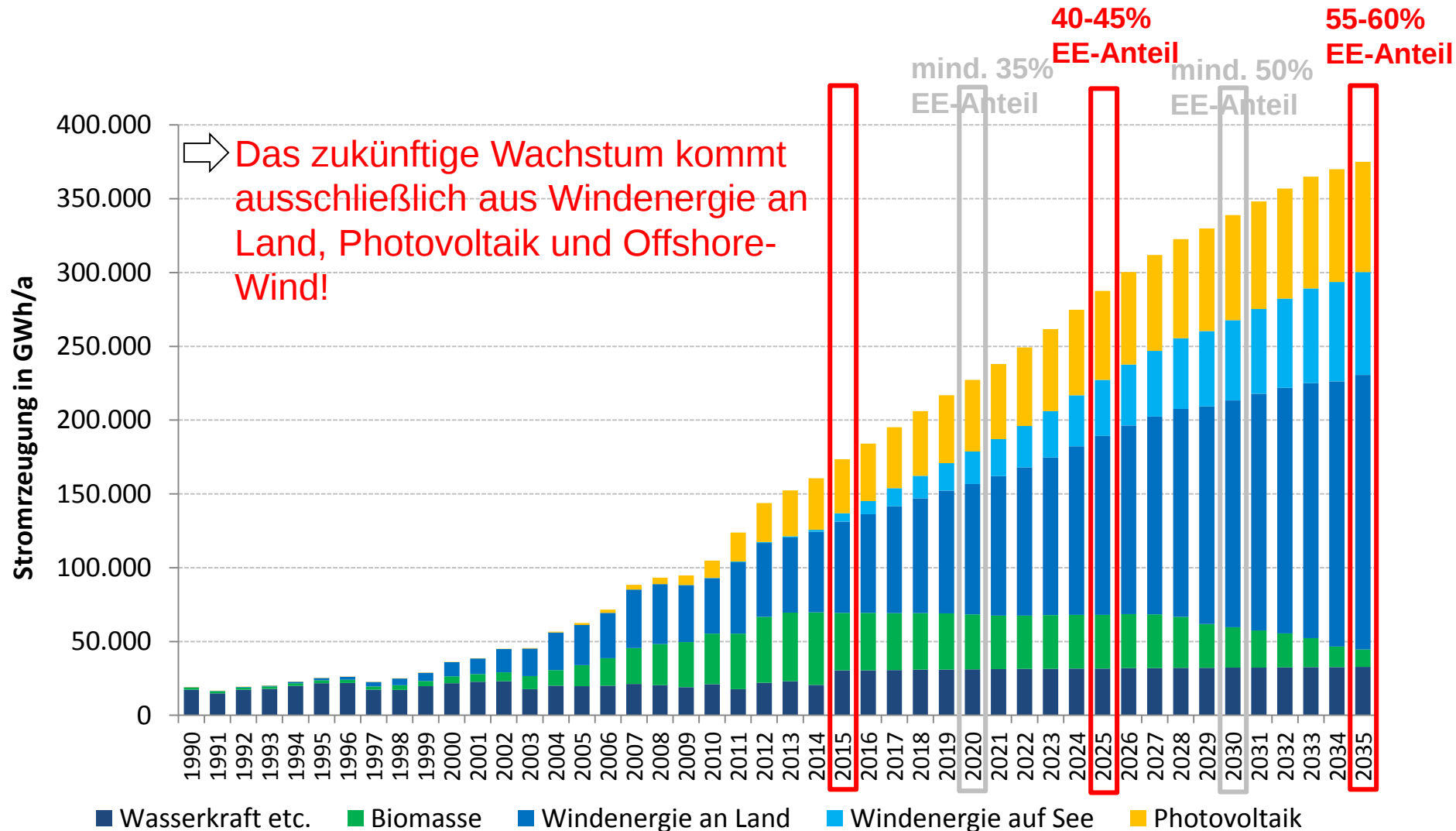


Weltweite PV Installationen: Stand und Vorhersage 2015

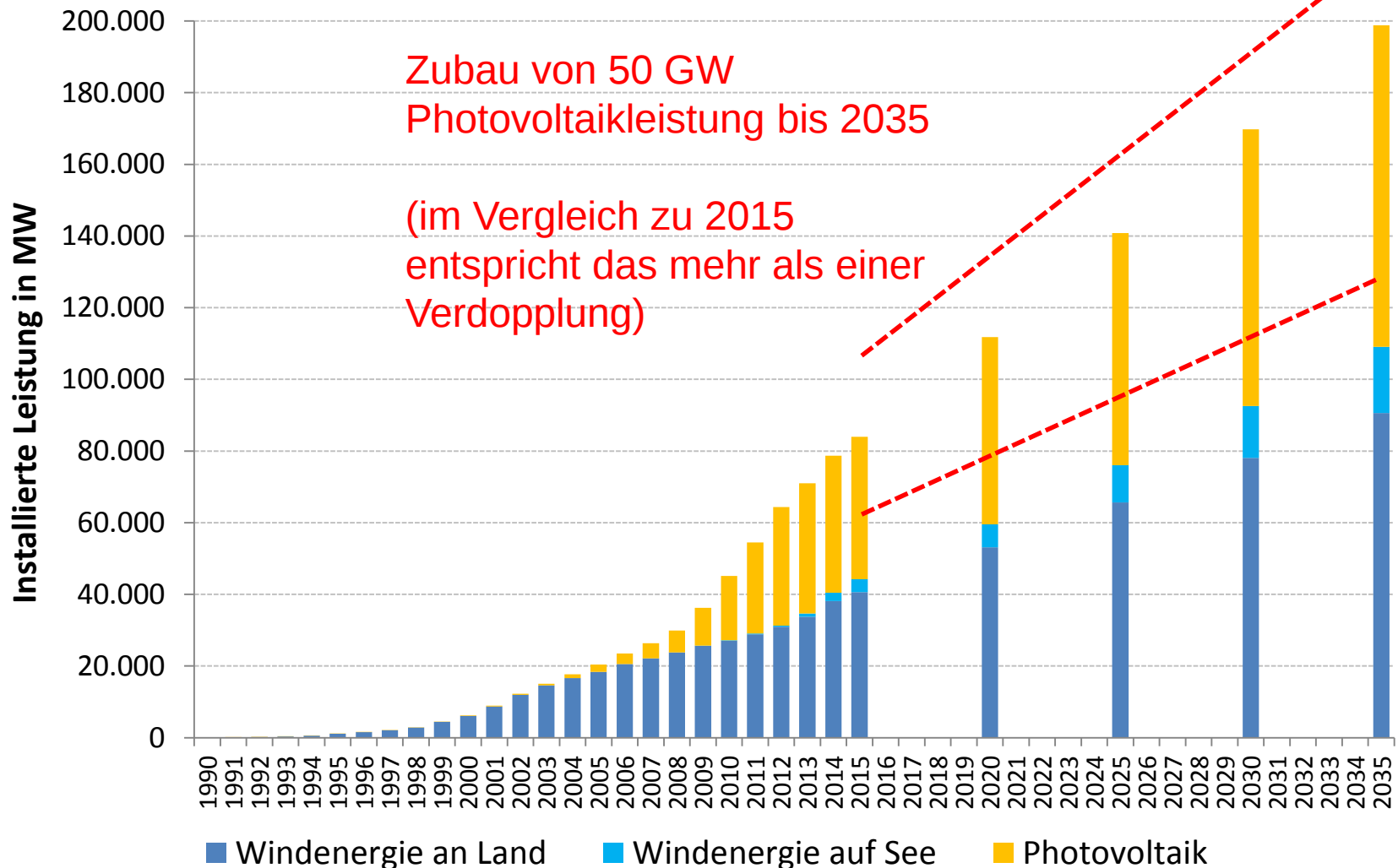
2015f: Σ 57,4 GW (28% Wachstum)



Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gemäß EEG 2014

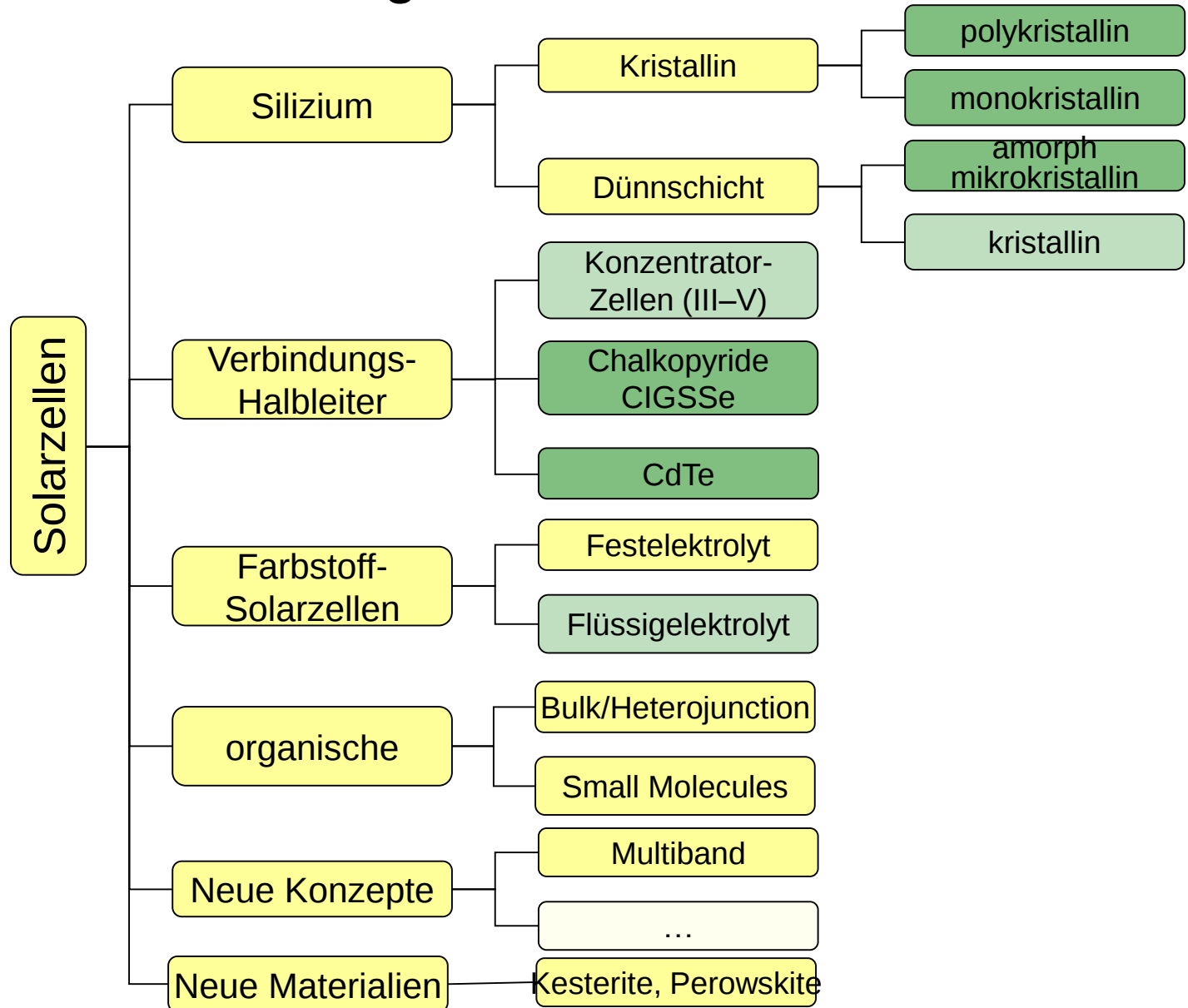


Entwicklung der installierten Leistung aus Windenergie an Land, Offshore und Photovoltaik gemäß EEG 2014a



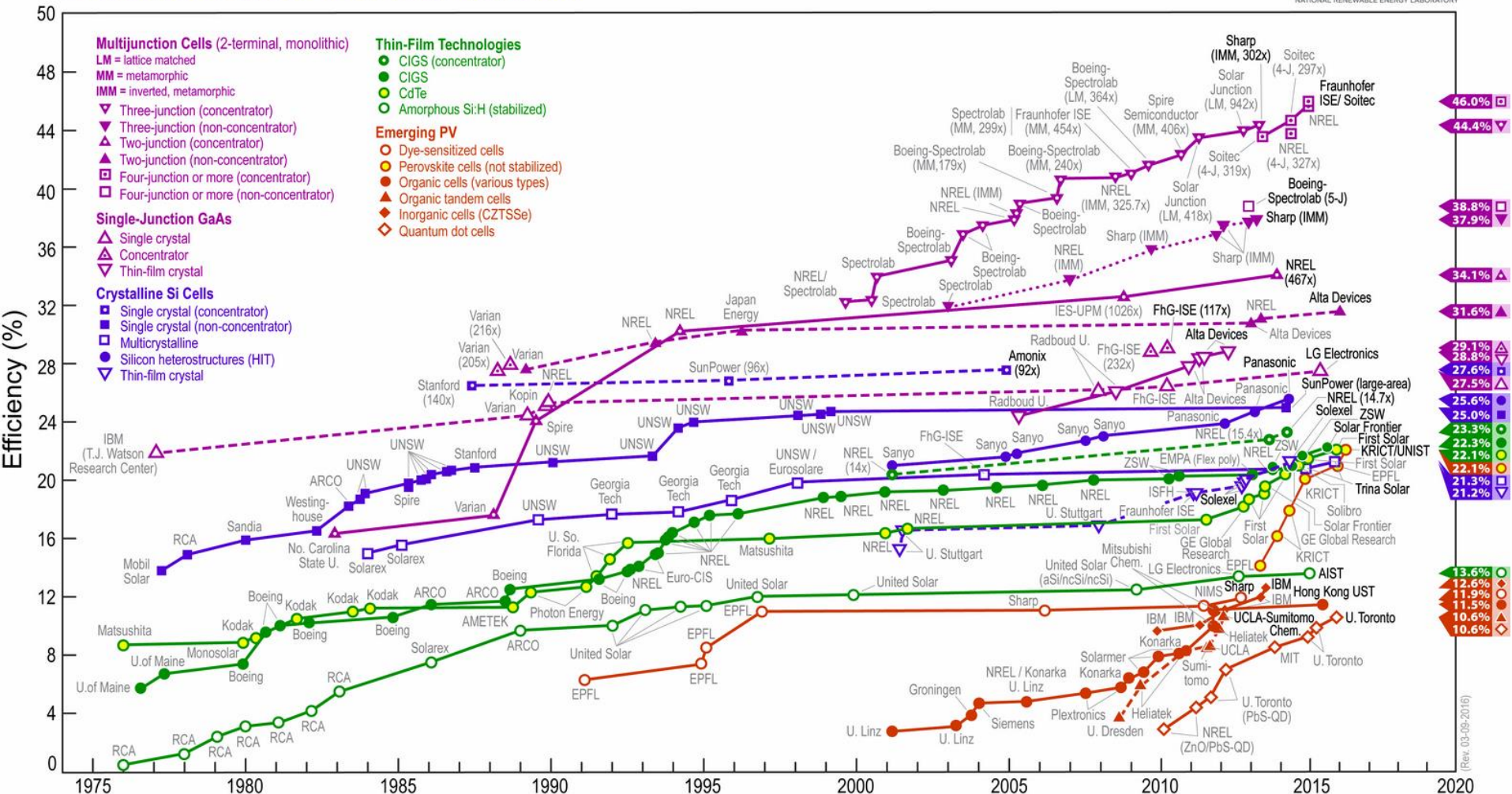
1.3.3. Übersicht PV-Technologien

Übersicht über photovoltaische Materialklassen



Si-Wafertechnologie: Das „Arbeitspferd der Photovoltaik“

Best Research-Cell Efficiencies

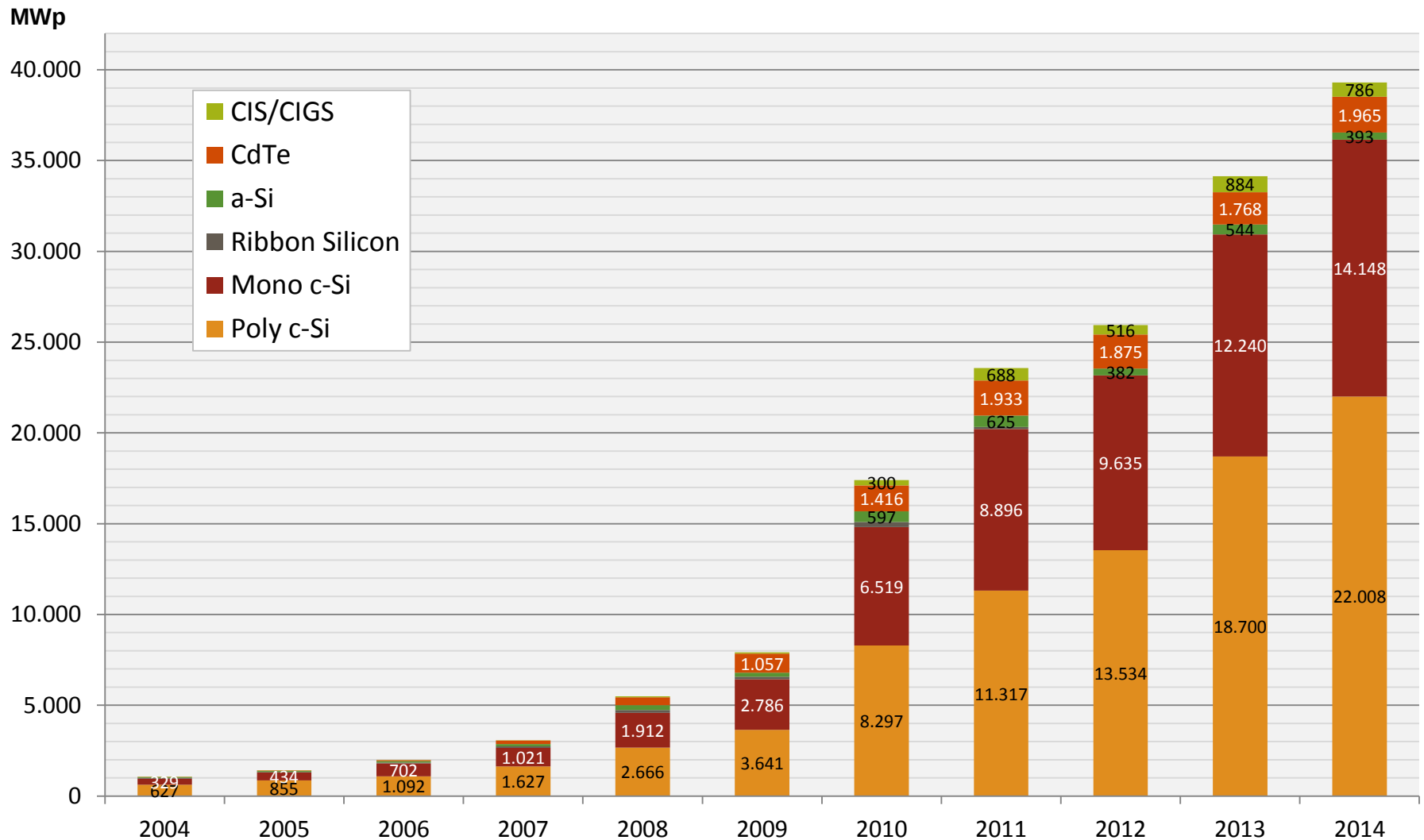


(Rev. 03-09-2016)

Overview of Efficiencies

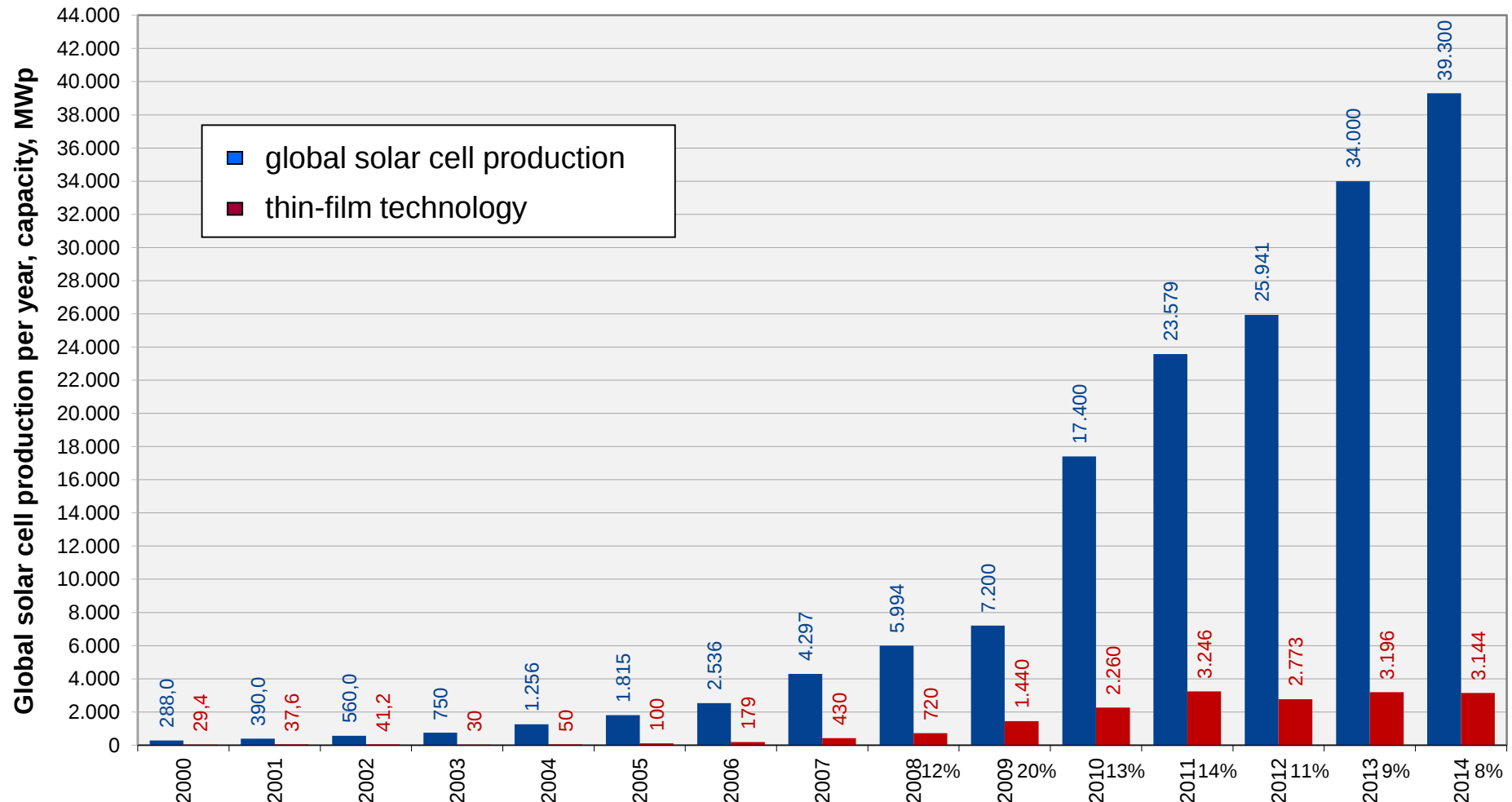
Photovoltaic Material	Lab. cell	Pilot production	Mass production (module efficiency)	Area PV for 1 kW _p
Monocrystalline Si	26 %	21 %	14 – 19 %	6 – 8 m ²
Polycrystalline Si	22 %	19 %	12 – 15 %	7 – 8 m ²
Amorphous a-Si/μcSi	13 %	8 – 10 %	5 – 10 %	10 – 20 m ²
Gallium-arsenide-based multi-junction cells (III/V)	46 %	26 %	22 %	concentrating / tracking
Chalcopyrite (CIGS)	22 %	16 %	9 – 14 %	7 – 11 m ²
Cadmium telluride (CdTe)	21 %	15 %	8 – 12 %	8 – 13 m ²
Dye-sens. solar cells	15 %	3 – 5 %		
Organic cells/Perovskite	11 % / 21%			

Photovoltaic Module Technology Share



Global Solar Cell Production including Thin-Film Technology

different studies



Source Global Solar Cell Production:

Data 2000: Räuber, PSE
 Data 2001 - 2002: Strategies Unlimited / P. Maycock (PV Systems Inc.)
 Data 2003 - 2007: Photon 3/2008
 Data 2008: EuPD Research, 2009
 Data 2009: EPIA
 Data 2010: Navigant
 Data 2011 - 2014: SPV Market Research / Strategies Unlimited / IDTechEx

Source Thin-Film Technology:

Data 2000 - 2002: DLR, 2005
 Data 2003 - 2005: EPIA
 Data 2006 - 2007: Navigant Consultant Inc.
 Data 2008: EuPD Research, 2009
 Data 2009: EPIA
 Data 2010: Navigant
 Data 2011 bis 2014: SPV Market Research / Strategies Unlimited / IDTechEx

1.3.4. Netzintegration und Nutzungspotenziale in Deutschland

2013 in Deutschland

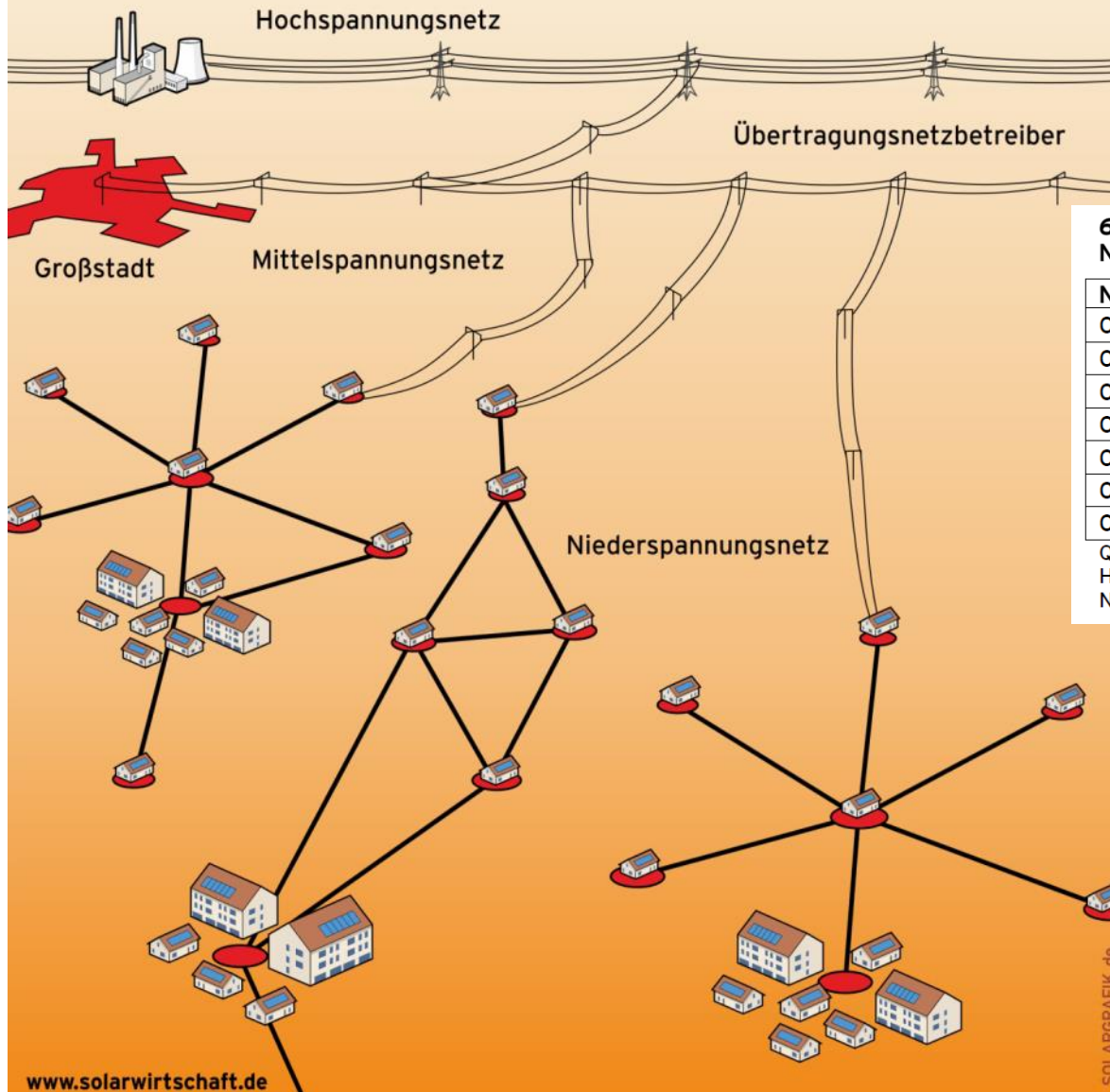
- ca. 35,7 GWp installierten PV-Anlagen speisen Sonnenstrom mit durchschnittlich 970 Vollbenutzungsstunden ins Netz (bei 40-80GW Bedarfsschwankung)
→ Dezentrale Einspeisung verändert die Steuerungslogik des Systems.
- Netzdienstleistungen der PV Kraftwerke werden zunehmend erforderlich → PV-Systemverantwortung gewinnt an Bedeutung
- Netzausbau und Speicher sind erforderlich
- Wind und PV ergänzen sich gut, da PV im Sommer höhere Vollbenutzungsstunden hat als Wind, beide in der Übergangszeit vergleichbare Werte aufweisen, während die Windeinspeisung im Winter überwiegt
- Das existierende Strommarktdesign funktioniert bei hoher Durchdringung mit EE nicht → Merit-Order-Effekt‘:

Entsteht dadurch, dass v.a. die Erneuerbaren Energien ‚unlimitiert‘ (also ohne eine Preisvorgabe) an der Strombörse angeboten werden. Dadurch wird ihr Einspeisevorrang an der Börse gewährleistet. Durch die eingestellten Mengen an EE werden jedoch die teuren Kraftwerke verdrängt. Damit wird im Schnitt der Börsenpreis gesenkt. Das wiederum lässt die EEG Umlage ansteigen.

→ Wer zahlt für die Bereitstellung von Leistung und die Netze.

Dezentral und Verbrauchernah

Über 98 % der Photovoltaikanlagen sind am Niederspannungsnetz angeschlossen



6) Rund 98 Prozent der Photovoltaik-Anlagen speisen ins Niederspannungsnetz ein (Stand 2009)

Netzebene	Verteilung nach Anlagen
01 (HöS)	0 %
02 (HöS/HS)	0 %
03 (HS)	<0,01 %
04 (HS/MS)	<0,02 %
05 (MS)	1,4 %
06 (MS/NS)	0,7 %
07 (NS)	97,9 %

Quelle: Roland Berger/Prognos
HöS - Höchstspannungsnetz; HS - Hochspannungsnetz; MS - Mitt
NS - Niederspannungsnetz

Verteilungs- und Übertragungsnetze:

Versorgungssicherheit und Energiekosten, Vermeidung von Netzüberlastungen und unnötigen Netzausbaukosten

PV Systemdienstleistungen:

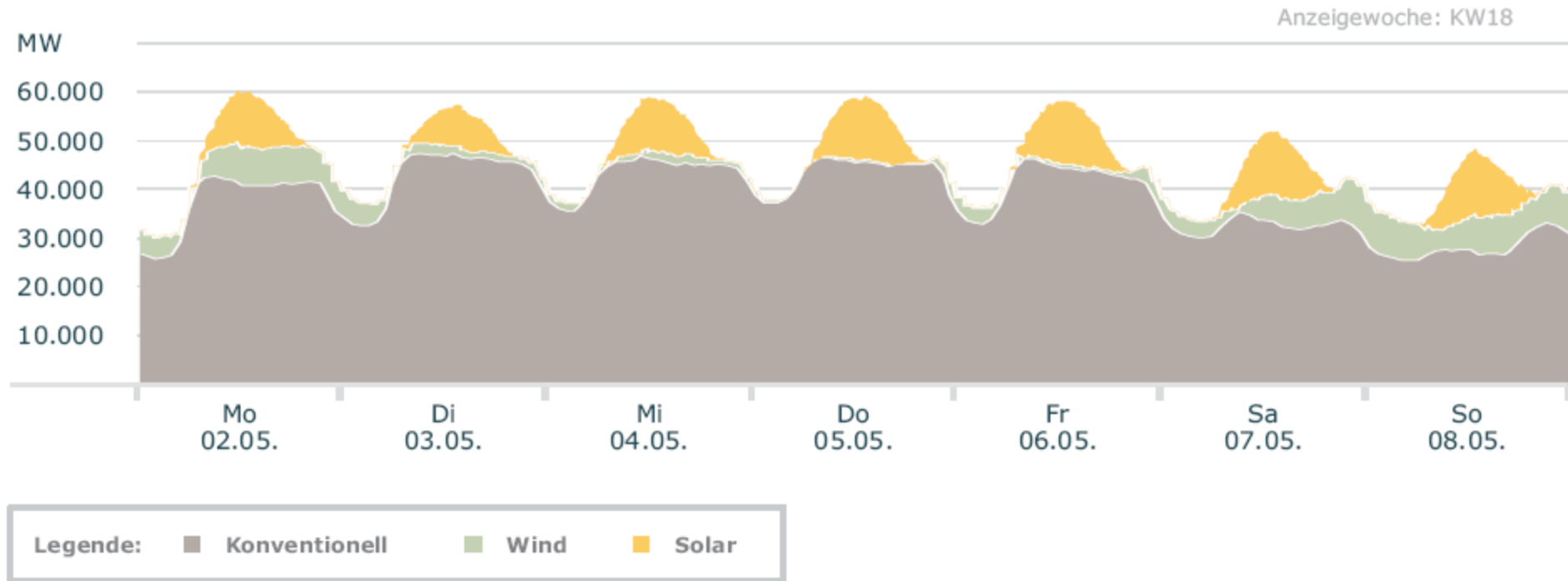
- Frequenzverhalten (50,2 Hz Problem, Niederspannungsnetz, Nachrüstung!)
- Wirkleistungsabregelung (Fernsteuerbares Abregeln der PV Anlage)
- Wirkleistungsbegrenzung (70% Leistungsbegrenzung, Rest Eigennutzung)
- Blindleistungsbereitstellung (auch Nachts)
- Bereitstellung von Regelenergie (tlw. mit Speichern)
- Eigenverbrauch, Lastmanagement
- Kopplung mit Speichern, Gasnetz, thermische Nutzung (24h Kraftwerke)

Netze:

- werden tlw. bidirektional und sinnvoll ausgebaut (Netzentwicklungsplan)
- werden tlw. regelbar (z.B. regelbare Ortsnetztrafos)
(Die Verteilnetze sind bei konsequenter Nutzung der technischen Möglichkeiten den kurzfristigen Herausforderungen gut gewachsen.)

Anteil von Solar- und Windstrom in der KW18/2011 in Deutschland

Tatsächliche Produktion



Grafik 3: Tatsächliche Stromproduktion in der Kalenderwoche 18 vom 02. bis 08. Mai 2011.

Quelle: Fraunhofer ISE

Daten: Leipziger Strombörse EEX, www.transparency.eex.com

Zukunft: Eigennutzung der PV, Kombination mit E-Fahrzeug, dezentrale Speicher arbeiten in einem intelligentem Netz

Fahrzeug heute (Biodiesel):	10000 m ²
H ₂ -Fahrzeug (H ₂ aus Biomasse):	1000 m ²
H ₂ -Fahrzeug (H ₂ aus PV-Strom):	ca. 60 m ²
Elektro-Fahrzeug (PV-Strom):	< 20 m ²



Ökonomische Argumente

Beispiel Kosten*

Photovoltaik-Stromkosten 2015: ca. 18 ct/kWh

Strombedarf Kfz : 15 kWh/100km

Elektrizitätskosten je 100 km : 2,70 €/100 km

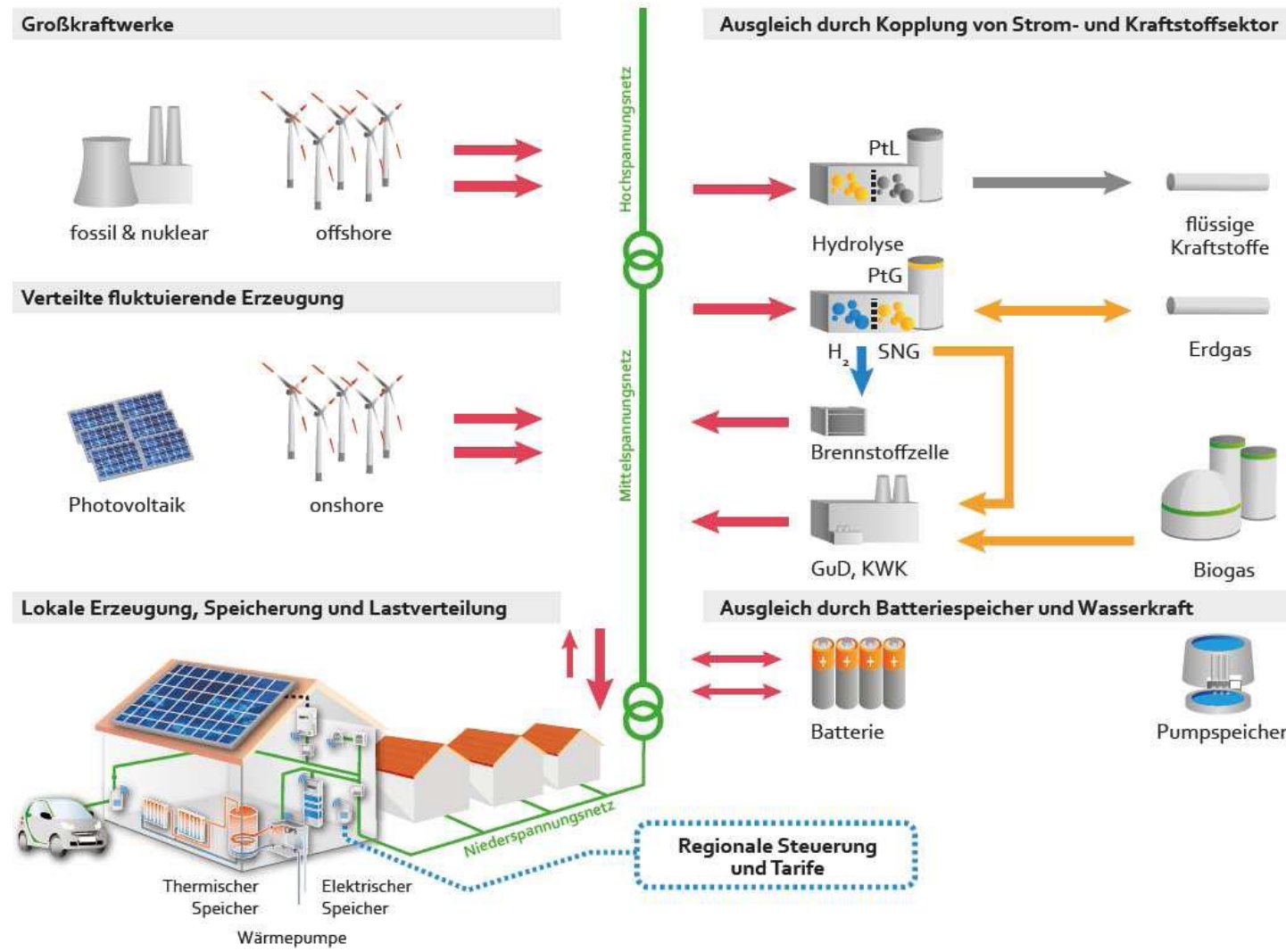
(* ohne Berücksichtigung höherer Anschaffungskosten für die Fahrzeuge)

Neueste Ziele: In D 1Mio.

Elektrofahrzeuge bis 2020

Source: EnBW, Kundenzeitschrift

Energieversorgung - Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch



Veranschaulichung der Lastflüsse und Kommunikationswege im zukünftigen Energiesystem zur Angleichung der zum Teil fluktuierenden Erzeugung und des zeitabhängigen Verbrauchs durch Speicherung (SNG: Substitute Natural Gas / erneuerbares Methan), Lastmanagement und schnell regelbare Stromerzeugung (balancing generation) durch Gaskraftwerke (CCGT: Combined Cycle Gas Turbine = GuD) oder Blockheizkraftwerke (CHP: Combined Heat and Power = BHKW).

Herausforderung der Energieversorgung mit hohem fluktuierendem Anteil Erneuerbarer Energien



Nutzungspotenziale in Deutschland

Zusammengefasst ergibt sich für Deutschland ein Flächenpotenzial:

auf Gebäuden:	800 km ²
auf Freiflächen:	1300 km ²
Gesamt:	2100 km²

(nichtberücksichtigt: Fassaden, Freiflächen im Siedlungs- und Verkehrsbereich)

Das ergibt im Mittel pro Jahr eine Stromerzeugung von:

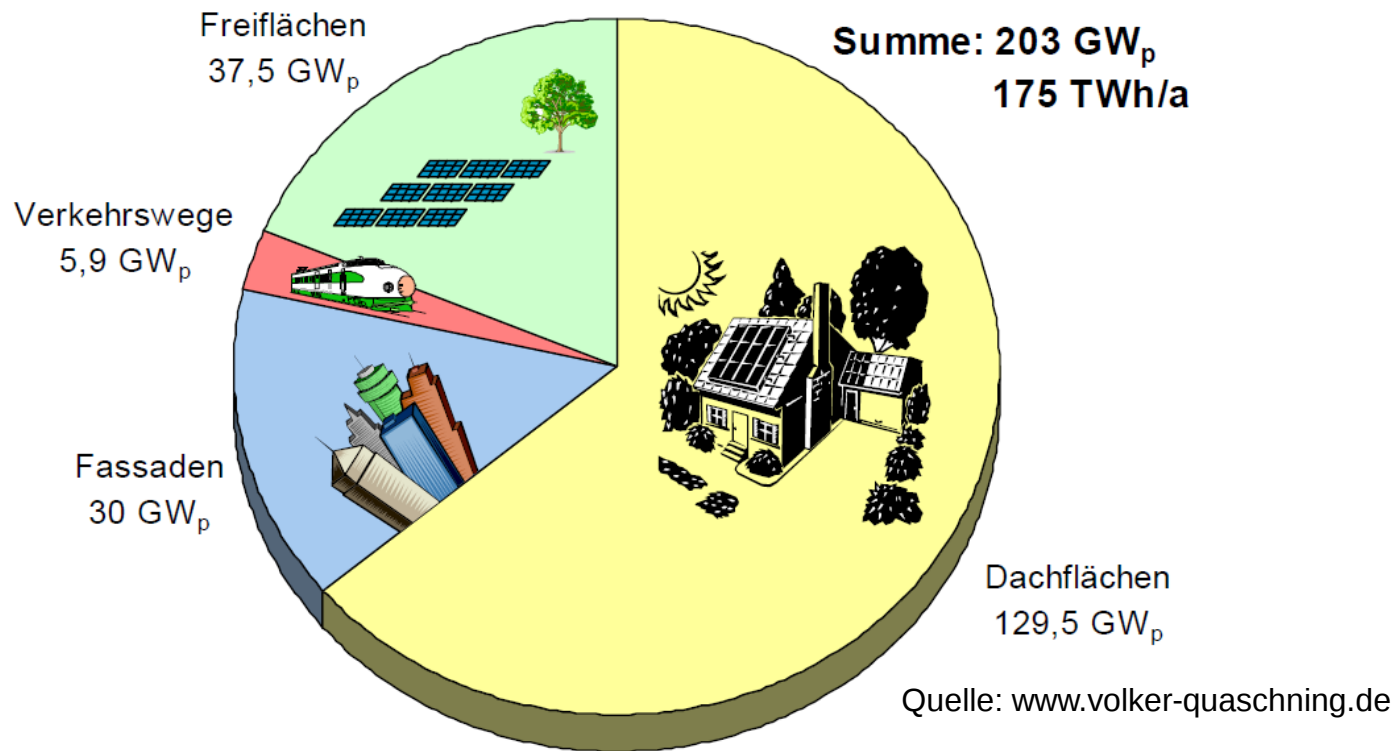
auf Dächern	70 TWh
auf Freiflächen	130 TWh
Gesamt:	200 TWh

(Nettostromverbrauch in D 2010 ca. 600TWh)

- 1/3 des Nettostromverbrauchs könnte in D mit PV gedeckt werden.
- Andere Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass 400 GW Installationen nötig sind. Dies ist aber nur durch Kopplung mit Eigenverbrauch und z.B. der Erzeugung von warmen Wasser, um Spitzen zu kappen.

- es gibt genug Sonnenenergie und Fläche auch in Deutschland
- hoher Wirkungsgrad für Konversion und Speicherung erforderlich
- Netzeinbindung und Systemtechnik sehr wichtig

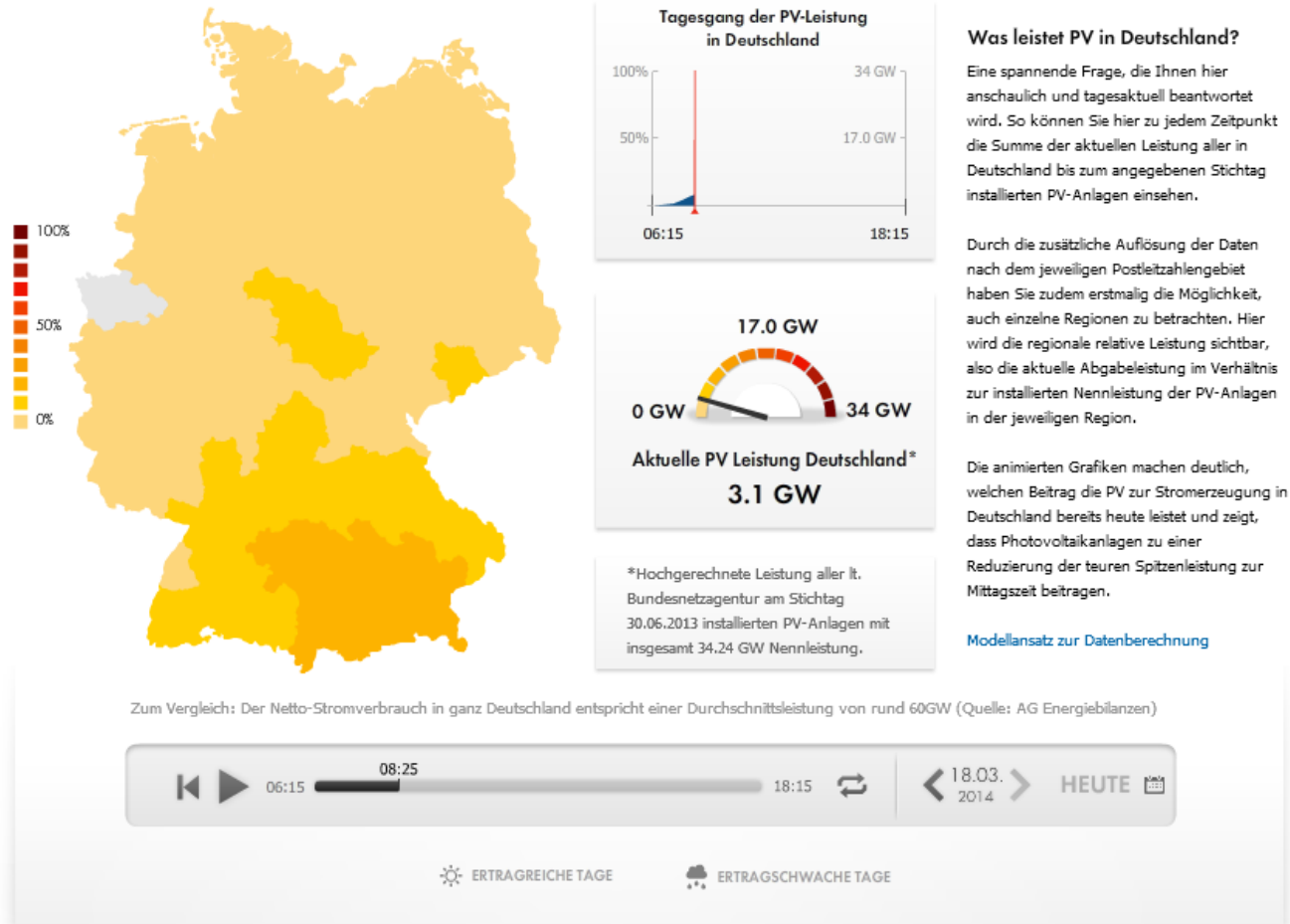
PV Potenzial in Deutschland



7 GW entspricht 1 % Solarstromanteil.
203 GW entsprechen 29 %.

PV Installationen in Deutschland

Relative Leistung vom 18.03.2014-08:25 Uhr



Quelle: SMA

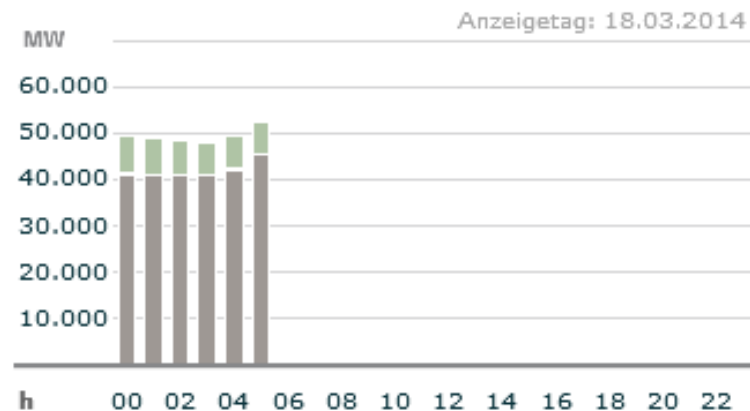
<http://www.sma.de/unternehmen/pv-leistung-in-deutschland.html>

Strombörse

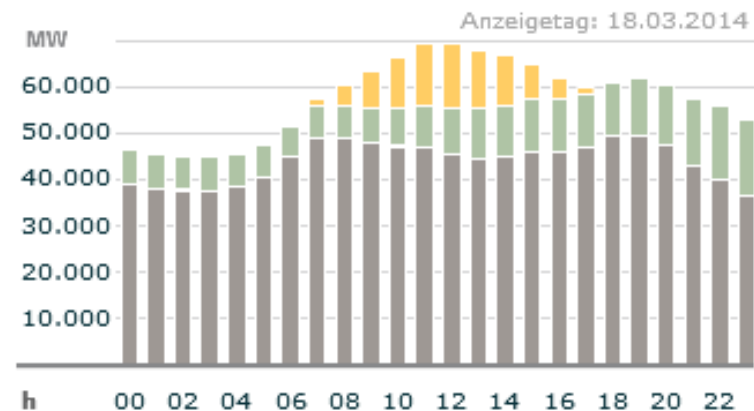
Willkommen auf der EEX-Transparenzplattform

Auf der EEX-Transparenzplattform werden marktnah an zentraler und neutraler Stelle marktrelevante Erzeugungs- und Verbrauchsdaten veröffentlicht, um die Transparenz auf dem Großhandelsmarkt weiter zu erhöhen. Damit werden sowohl gesetzliche Veröffentlichungspflichten als auch freiwillige Selbstverpflichtungen der Branche umgesetzt.

Tatsächliche Produktion (Strom)



Geplante Produktion (Strom)



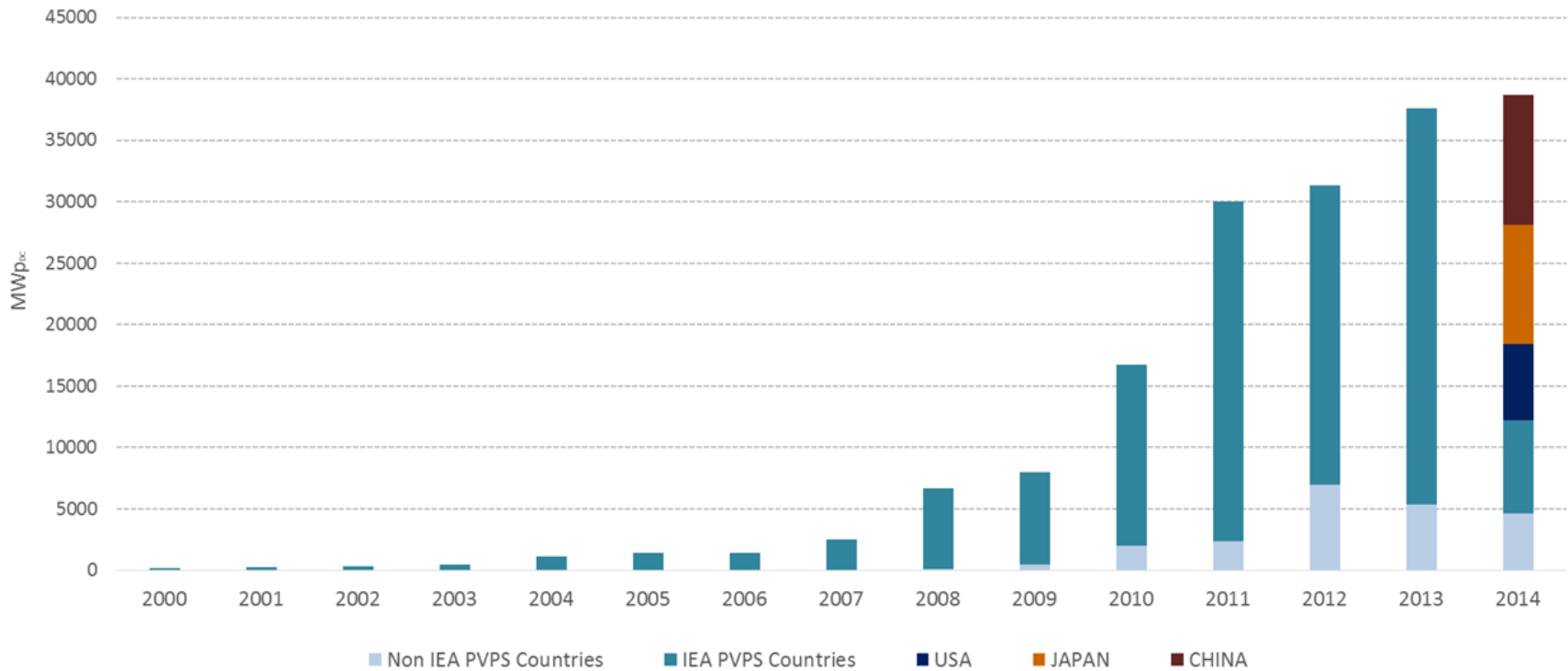
Legende: ■ Konventionell ■ Wind ■ Solar

<http://www.eex-transparency.com/startseite/strom/deutschland>

Wichtig: Je besser die Prognosen desto besser können Risiken abgefangen werden.
(z.B. kurzzeitige Reserve, negative Strompreise etc.)

Evolution of Annual PV Installations

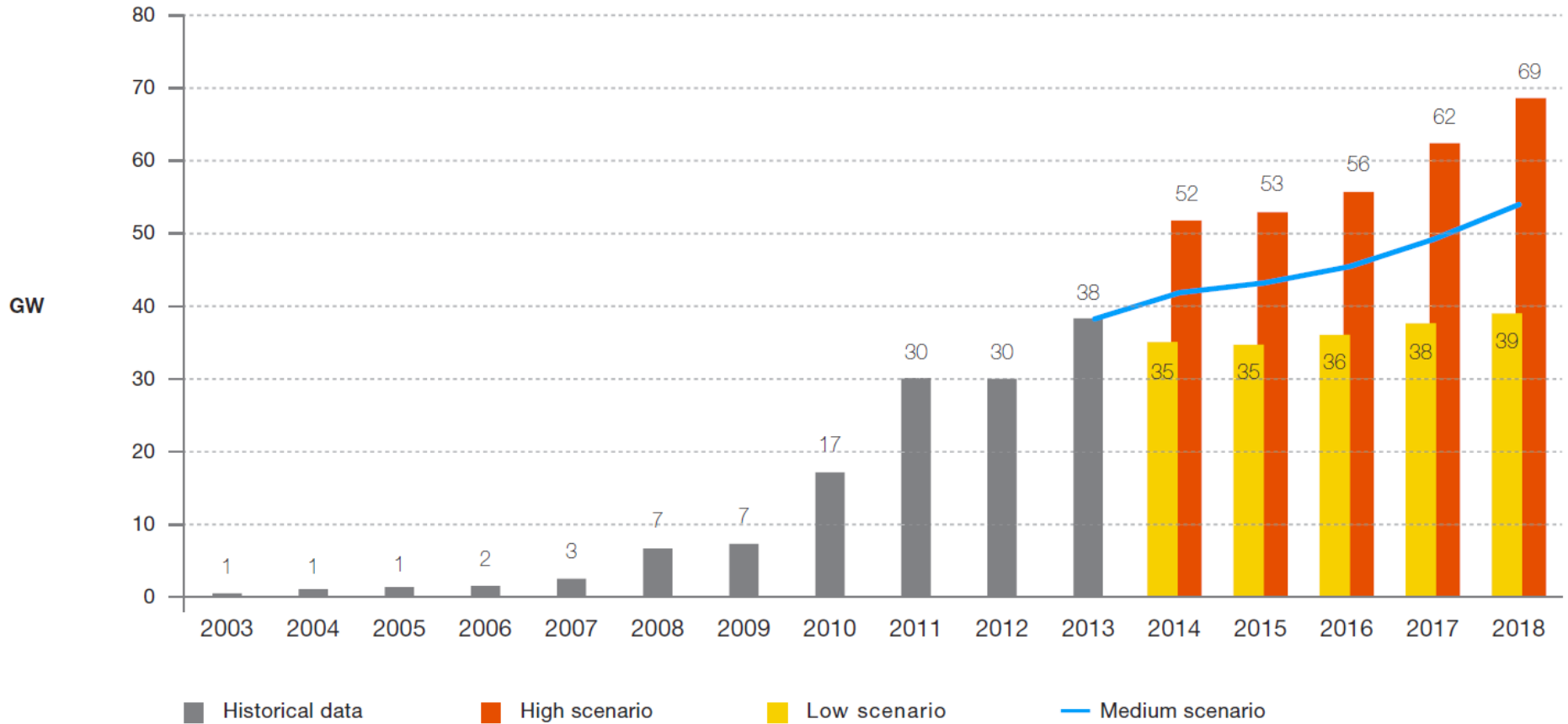
FIGURE 2: EVOLUTION OF ANNUAL PV INSTALLATIONS (MW_{p_{dc}})



Source: IEA PVPS

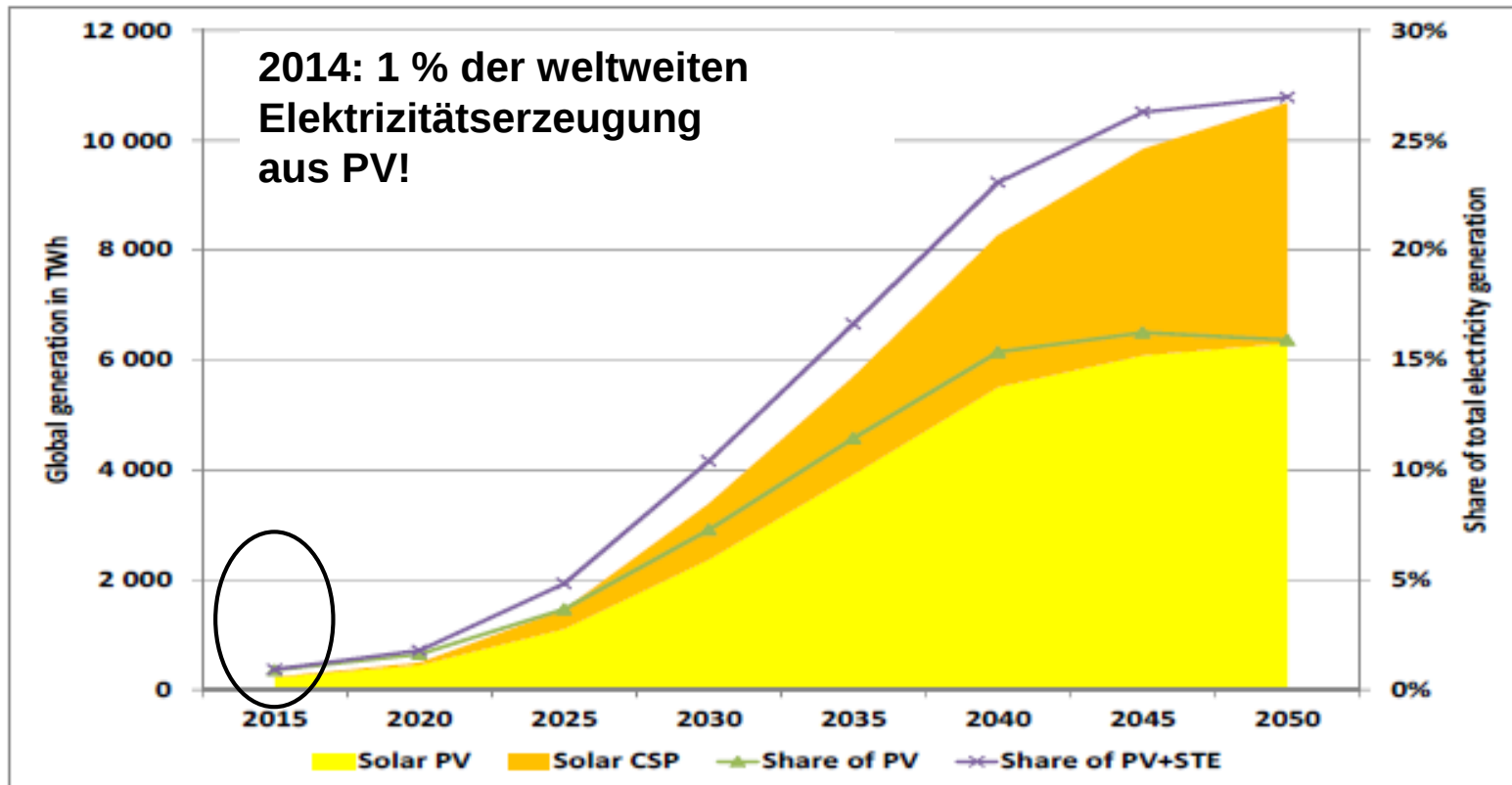
Source: IEA PVPS

Global annual market scenarios until 2018



Source: EPIA

IEA Roadmap 2014 für PV und Solarthermie



Source: IEA

- “PV und Solarthermie werden noch vor 2050 zur größten Quelle für elektrische Energie”
- PV Industrie steht am Anfang und hat das Potenzial zu einer ähnlichen Bedeutung wie die Automobilindustrie zu gelangen

Das Weltweite Potenzial der PV

„Bierdeckelrechnung (top down)“

2050:

- 10 Mrd. Menschen → Sekundärenergieversorgung mit 150 PWh
- Annahme: - Stromanteil (↑) am Sekundärenergieverbrauch $\frac{2}{3} = 100\text{PWh}$ (60% Sonne, 20% Wind, 20 % sonstige EE)
davon 30 PWh PV (der Rest mit Solarthermie, etc.)
→ 23 TW PV-Leistung installiert (bei 1,3 kWh/Wp)

Umsatzprognose					
Jahr	Markt GW/Jahr	Module in Mrd. \$	Wechselrich- ter in Mrd. \$	BoS in Mrd. \$	Gesamt in Mrd. \$
2020	120	72	12	72	156
2030	450	161	23	230	410

→ Der weltweite Jahresumsatz der PV Industrie wird stark wachsen und vergleichbar zum Umsatz der globalen Automobilindustrie werden.