
DIE ERNTE DER SOLARENERGIE ALS EIN SCHLÜSSELPFEILER DER ENERGIEWENDE



Prof. Dr. Eicke R. Weber

Leiter,
Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE und
Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg

Deutsche Bundesumweltstiftung
Zukunftsprojekt Energiewende
Osnabrück, 10. September 2015

www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Forschung für die Energiewende

- größtes europäisches Solarforschungsinstitut
- mit ca. 1300 Mitarbeitern (inkl. Studenten)
- 16 % Grundfinanzierung
- 84 % Projektforschung, 29 % Industrie, 55 % öffentlich
- 86,7 Mio. € Budget (2013, inkl. Investitionen)
- > 10 % Wachstumsrate (bis 2013)



Fraunhofer ISE

Außenstandorte

- Fraunhofer Labor- und Servicecenter LSC, Gelsenkirchen, Nordrhein-Westfalen
- Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM, Freiberg, Sachsen
- Fraunhofer Center für Silizium Photovoltaik CSP, Halle/Saale, Sachsen-Anhalt
- Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE, Boston/USA
- Fraunhofer Center for Sustainable Energy Technologies CSET, Santiago, Chile



Fraunhofer LSC



Fraunhofer THM

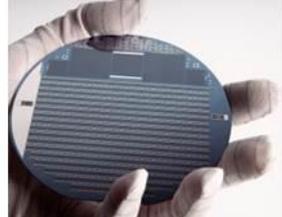
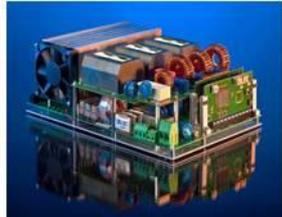


Fraunhofer CSP

Fraunhofer ISE

12 Forschungsthemen

Fotos © Fraunhofer ISE



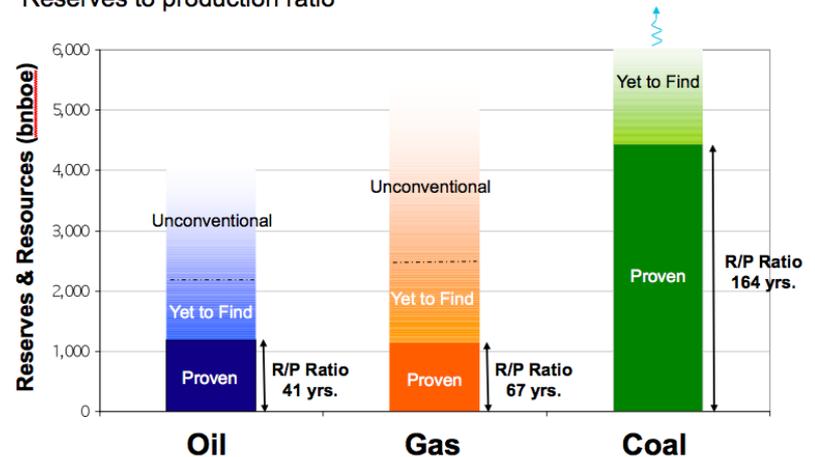
- Energieeffiziente Gebäude
- Silicium-Photovoltaik
- III-V- und Konzentrator- Photovoltaik
- Farbstoff-, Organische und Neuartige Solarzellen
- Photovoltaische Module und Kraftwerke
- Solarthermie
- Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
- Systemintegration und Netze – Strom, Wärme, Gas
- Energieeffiziente Leistungselektronik
- Emissionsfreie Mobilität
- Speichertechnologien
- Energiesystemanalyse

Eine radikale Transformation unseres globalen Energiesystems ist erforderlich

■ Verknappung fossiler Brennstoffe

Availability of fossil resources

Reserves to production ratio



Source: World Energy Assessment 2001, HIS, [WoodMackenzie](#), BP Stat Review 2005, BP estimates, Graph: [Koonin](#), BP

Fossile Brennstoffe werden knapper.

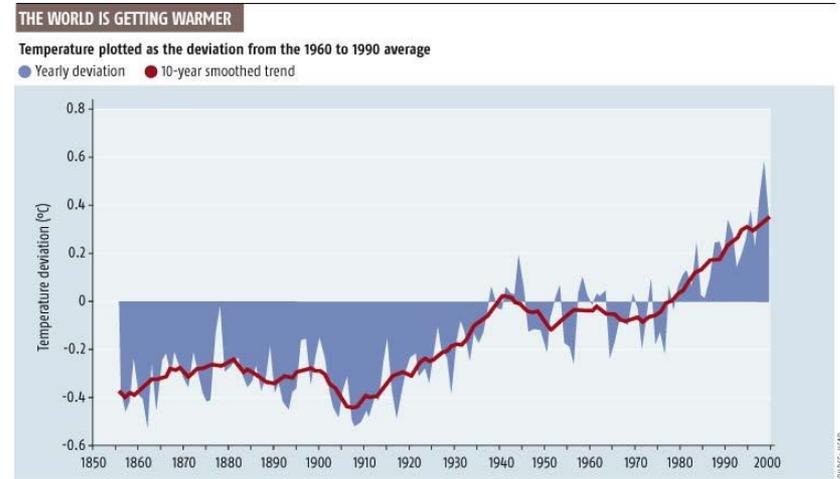
Eine radikale Transformation unseres globalen Energiesystems ist erforderlich

- Verknappung fossiler Brennstoffe
- Gefahr katastrophaler Klimaveränderungen
- Risiko von Nuklearunfällen/Endlagerfrage
- Abhängigkeit von Importen aus politisch instabilen Regionen

Dazu kommen seit Kurzem:



Zunehmende wirtschaftliche Chancen!



Die Welt wird wärmer.

Energiewende

Die Transformation des Energiesystems erfordert:

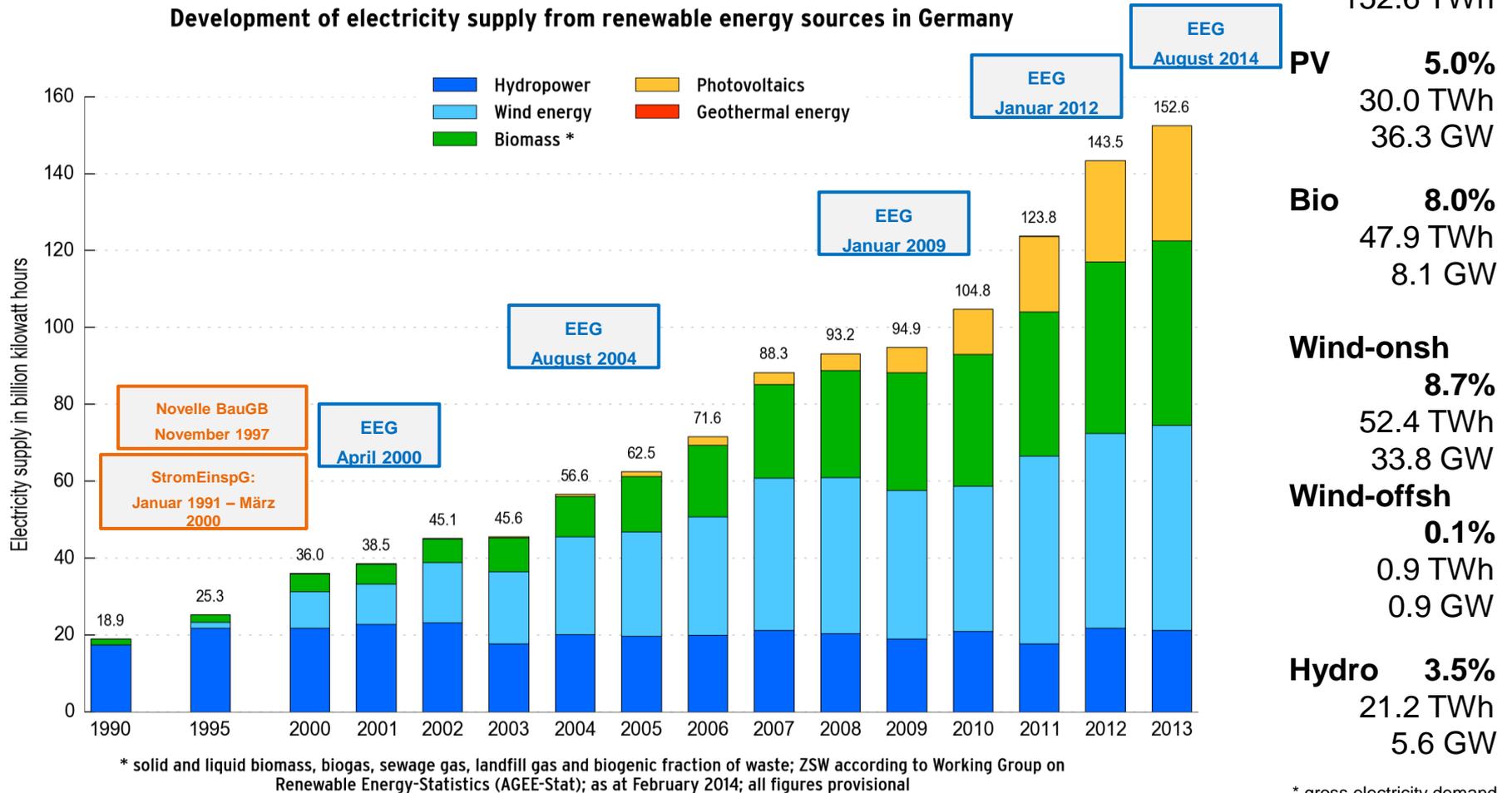
- verbesserte **Energieeffizienz** in Gebäuden, Transport (e-Mobilität) und Produktion
- Rascher Ausbau der **regenerativen Energien** wie Photovoltaik, Solarthermie, Wind- und Wasserkraft, Geothermie und Biomasse, in Richtung auf eine Zukunft mit 100 % regenerativen Energien
- Entwicklung von **Speichertechnologien**
- Ausbau des **Stromnetzes** für dezentrale Einspeisung, weiträumigen Transport und intelligenten Verbrauch (Smart Grid)
- Emissionsfreie **Mobilität**
- **Integration** des Strom-, Gas- & Wärmenetzes



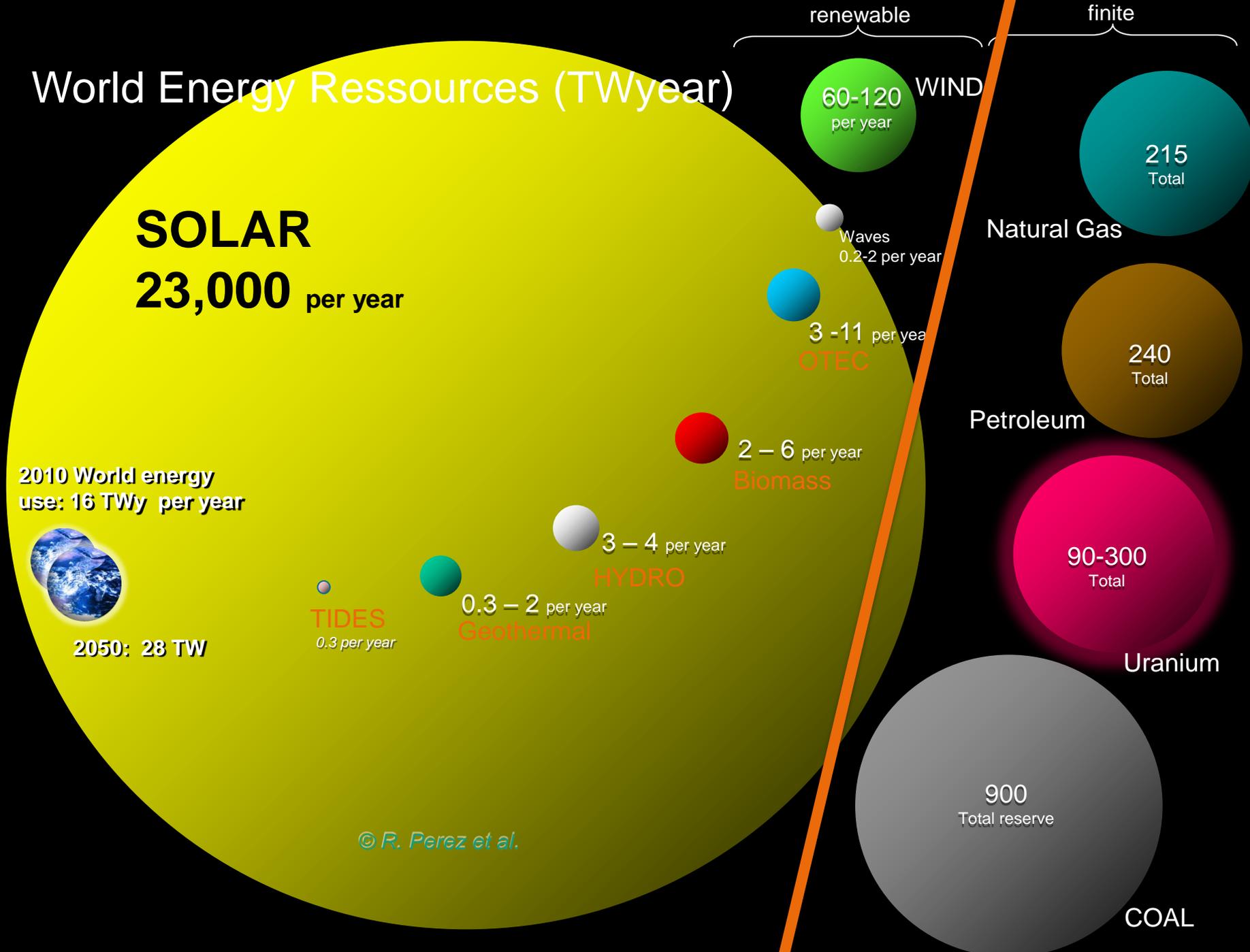
Electricity supply from renewable energy sources

Development in Germany 1990-2013

Year 2013



World Energy Resources (TWyear)



World Energy Resources (TWyear)

SOLAR
23,000 per year

2010 World energy use
16 TWy per year



2050: 28 TW

60-120
per year
WIND

Waves
0.2-2 per year

3 -11 per year
OTEC

2 - 6 per year
Biomass

3 - 4 per year
HYDRO

0.3 - 2 per year
Geothermal

TIDES
0.3 per year

renewable

finite

330
Total
Natural Gas

310
Total
Petroleum

90-300
Total
Uranium

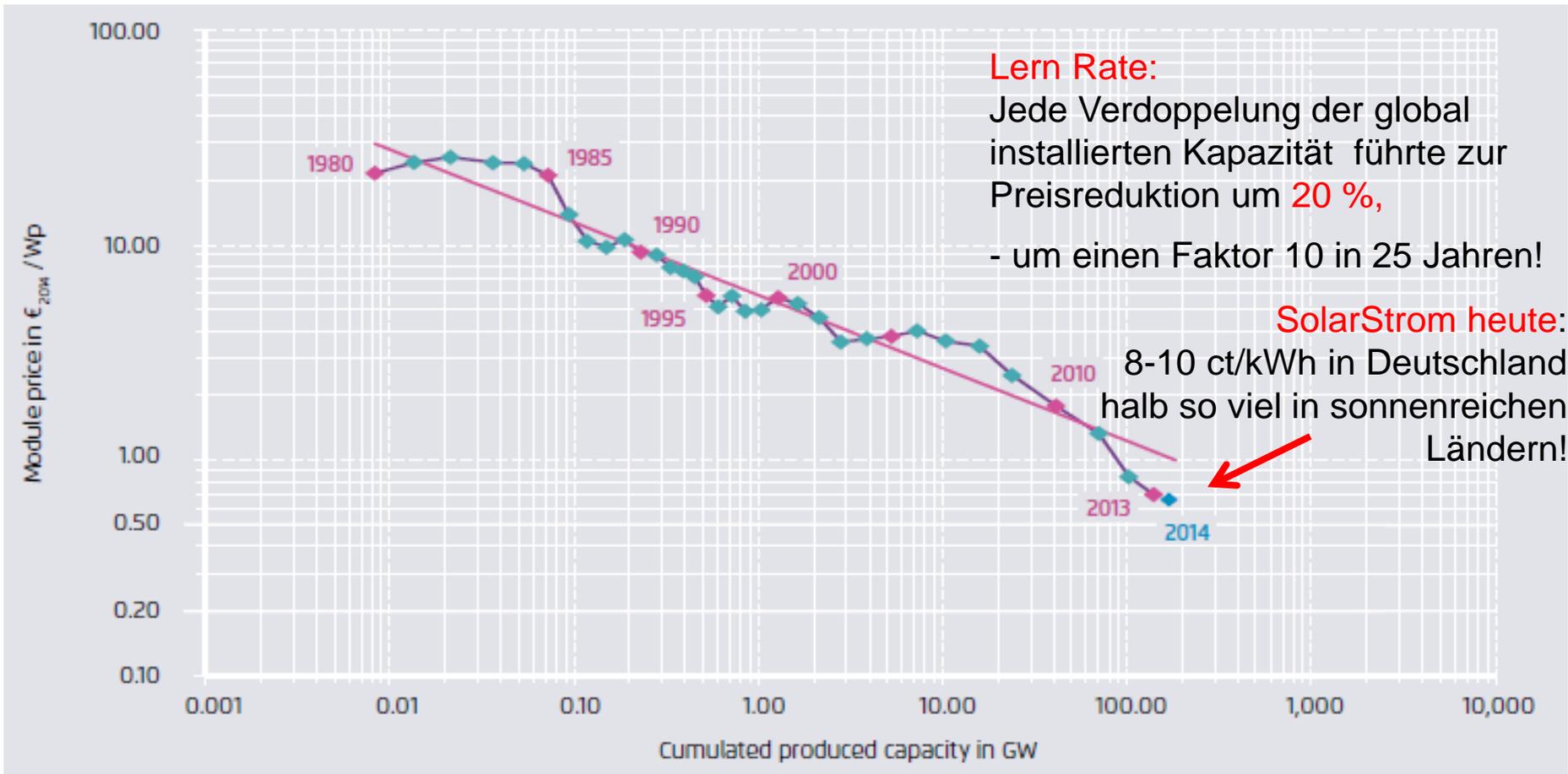
900
Total reserve
COAL

SHALE

© R. Perez et al.

Lernkurve der Solarenergie (c-Si Photovoltaik)

- Getrieben von Innovationen & Marktwachstum!



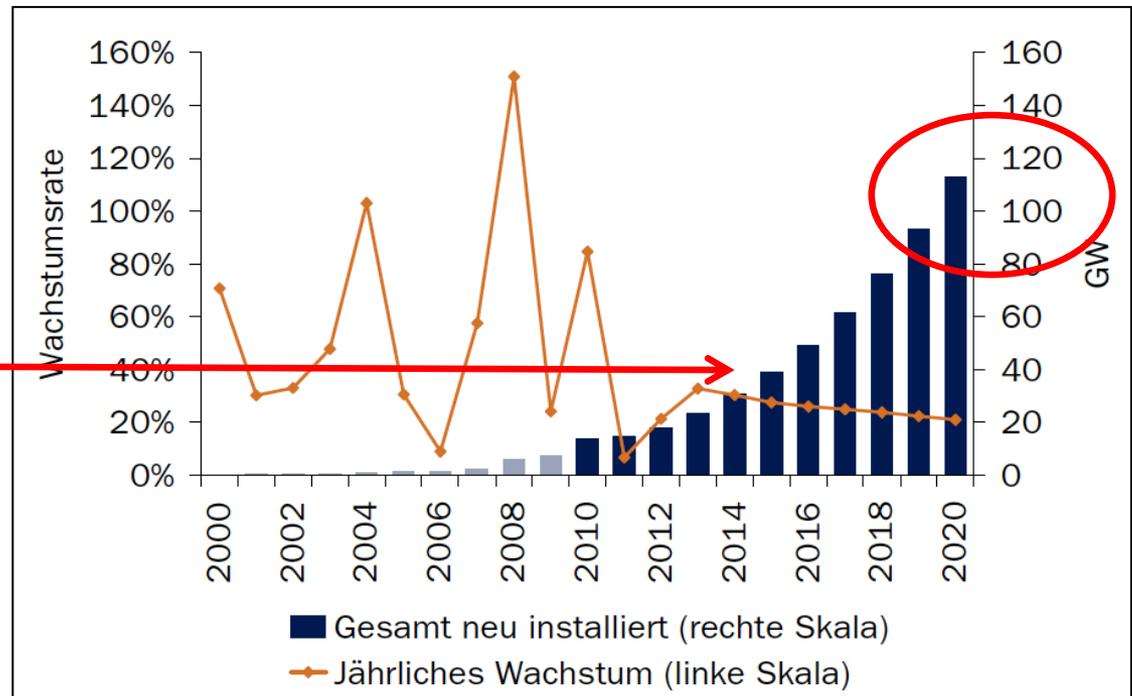
Source: Navigant Consulting; EUPD PV module prices (since 2006), Graph: ISE 2014

Ausblick Photovoltaik (PV)-Weltmarkt

Beispiel: Sarasin Bank, Nov. 2010: 110 Gigawatt 2020

- Marktausblick 2010:
30 GW/a für 2014,
110 GW/a für 2020
- jährl. Wachstumsrate:
im Bereich 20-30 %

Mit ca 40 GW 2014
etwa 1/3 über der
Vorhersage von 2010!



Quelle: Sarasin, Solar Study, Nov. 2010

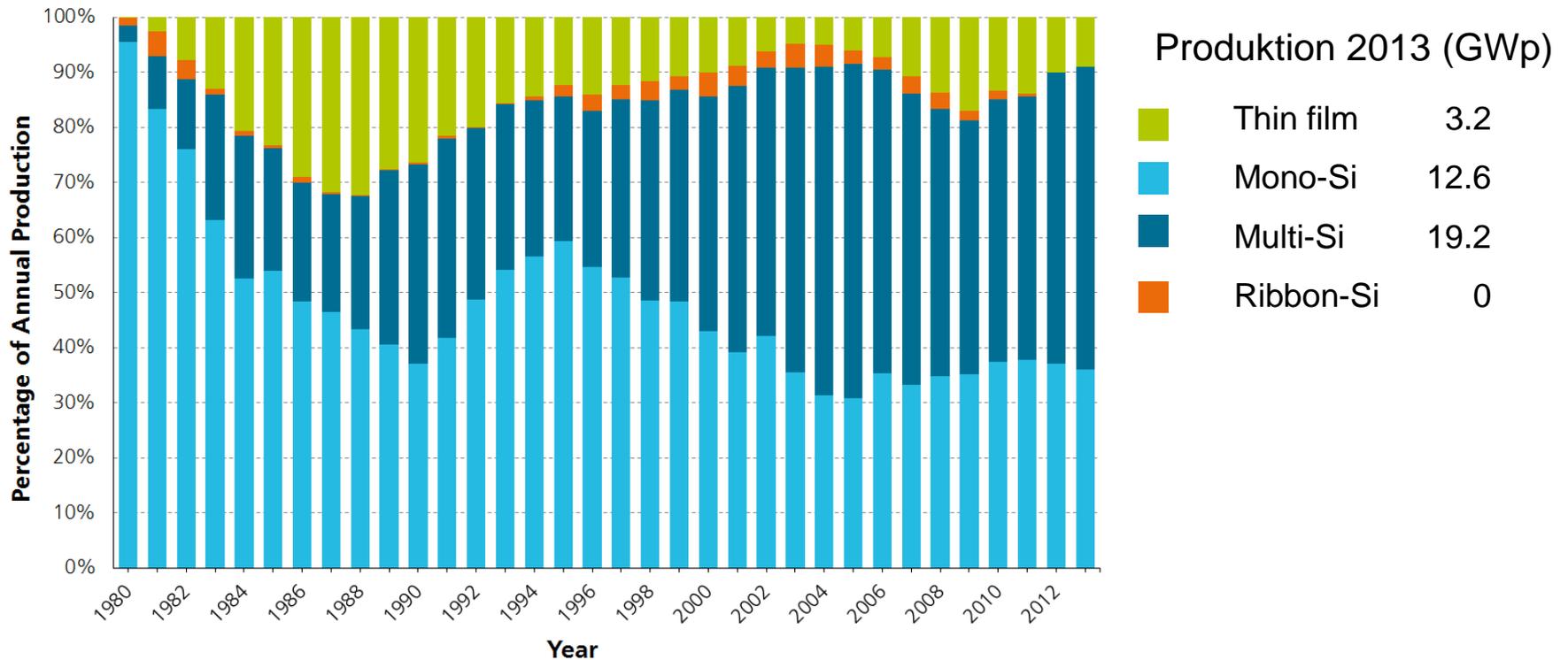
PV Stromkosten bis 2050 in verschiedenen Regionen

PV wird den preisgünstigsten Strom herstellen, für 2-4ct/kWh!



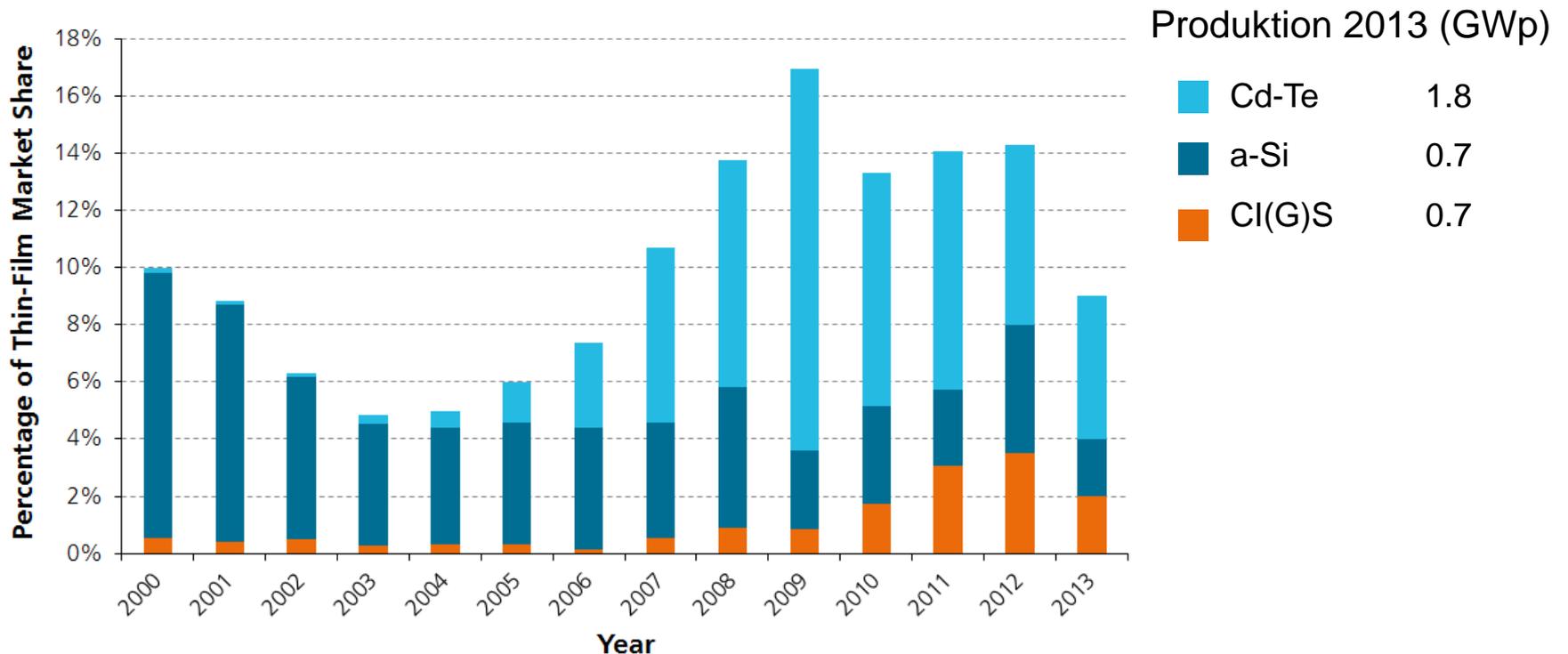
Source: ISE PV cost study 2014

PV Produktions-Technologien



Data: Navigant Consulting and IHS; since 2012: estimation from different sources. Graph: PSE AG 2014

Marktanteil der PV Dünnschicht-Technologien an der weltweiten PV Produktion



Data: Navigant Consulting; for 2012: estimation from different sources (Navigant and IHS). Graph: PSE AG 2014

Crystalline Silicon Technology Portfolio

c-Si PV modules: no commodity, high-tech products!

material quality

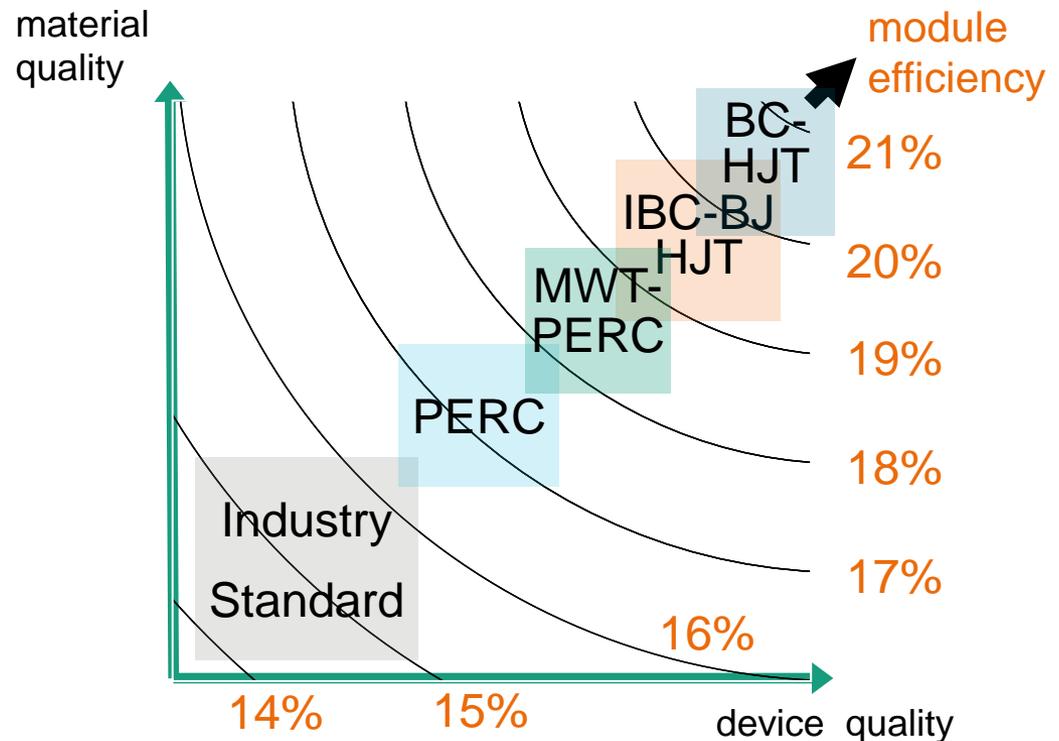
- diffusion length
- base conductivity

device quality

- passivation of surfaces
- low series resistance
- light confinement

cell structures

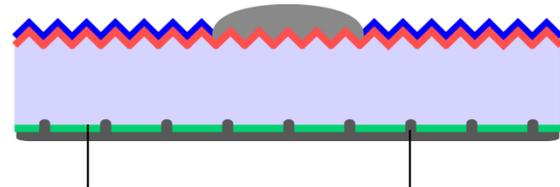
- PERC: Passivated Emitter and Rear Cell
- MWT: Metal Wrap Through
- IBC-BJ: Interdigitated Back Contact – Back Junction
- HJT: Hetero Junction Technology



Adapted from Preu et al., EU-PVSEC 2009

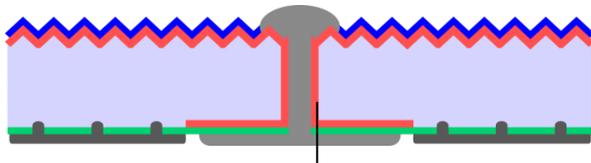
Advanced Cell Technologies

Passivated Emitter and Rear PERC¹



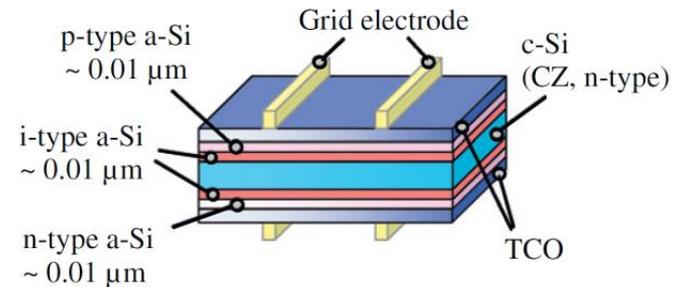
Passivating Layer and Local Contacts

Metal Wrap-Through MWT-PERC²



Metal Wrap Through Contact

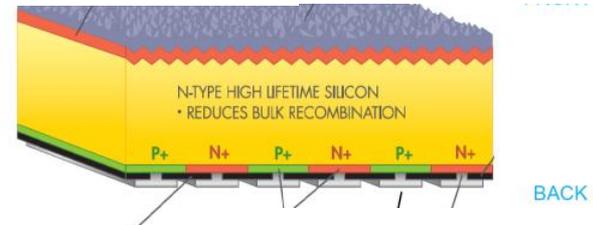
Heterojunction on Intrinsic layer HIT³



Interdigitated Back Contact/Junction IBC-BJ⁴

Lightly Doped Front Diffusion

Texture+passivation Layer



Passivating Layer

Local Contacts

¹Blakers et al., Appl. Phys. Lett. 55, pp. 1363-5, 1989

²Dross et al., Proc. 4th WCPEC, 2006, pp. 1291-4

³Sanyo/Panasonic ⁴Sunpower

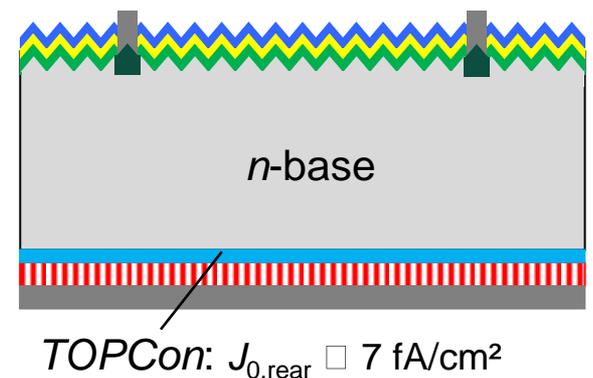
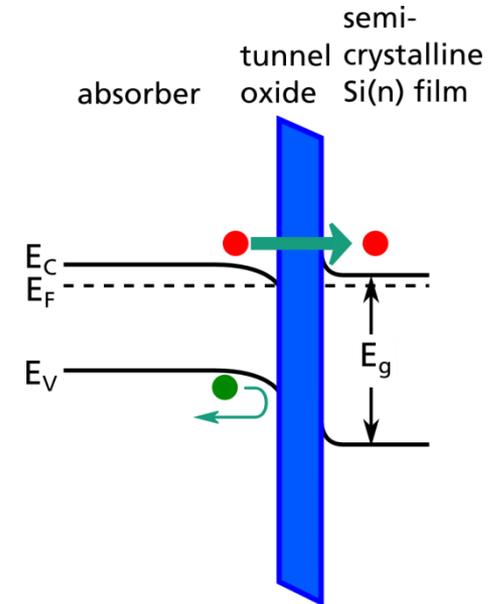
Advanced Cell Technologies

Tunnel Oxide Passivated Contact (TOPCon)

- TOPCon enables:
 - Excellent carrier-selectivity
 - High tolerance to high-temperature processes
- Very high V_{oc} and FF achieved due to
 - Excellent surface passivation
 - 1D carrier flow pattern in base

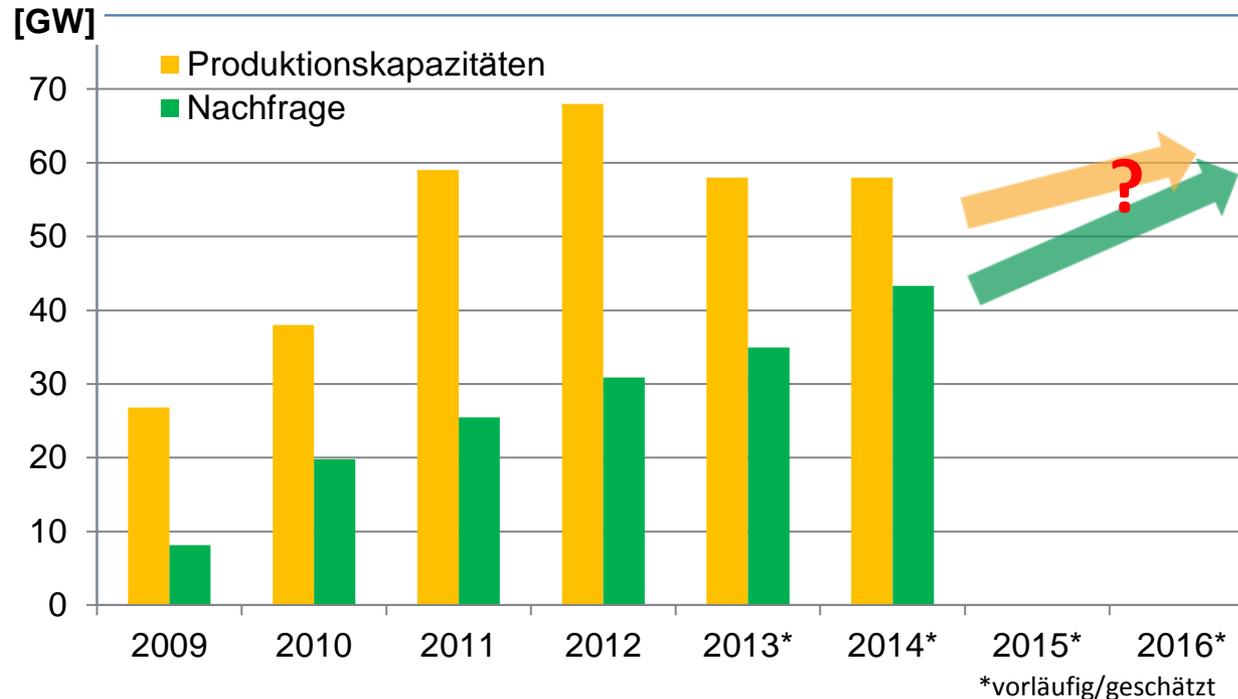
	V_{oc} [mV]	J_{sc} [mA/cm ²]	FF [%]	η [%]
Champion	719	41.5	83.4	24.9^[*]

[*]FZ-Si, *n*-type, 2x2 cm², aperture area, confirmed by Fraunhofer ISE Callab



Photovoltaik - Entwicklung von Angebot und Nachfrage

Produktionskapazitäten und Nachfrage nähern sich an

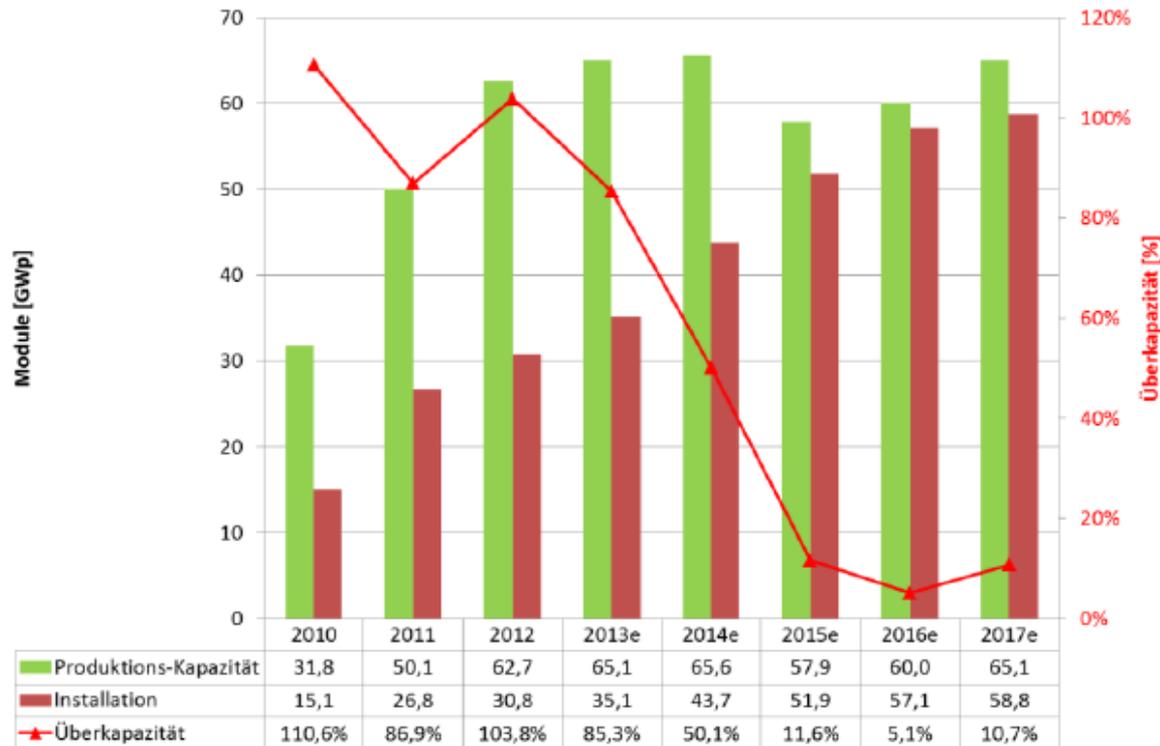


- China will den Aufbau von Produktionskapazitäten bremsen
- Nachfrage >50 GW könnte schon 2015 zu Engpässen führen

Quellen: EPIA, JRC, Mercom, iSuppli, BNEF, IEA, Photon, SW&W, Bloomberg, Solarbuzz und eigene Schätzungen

Globaler PV-Markt

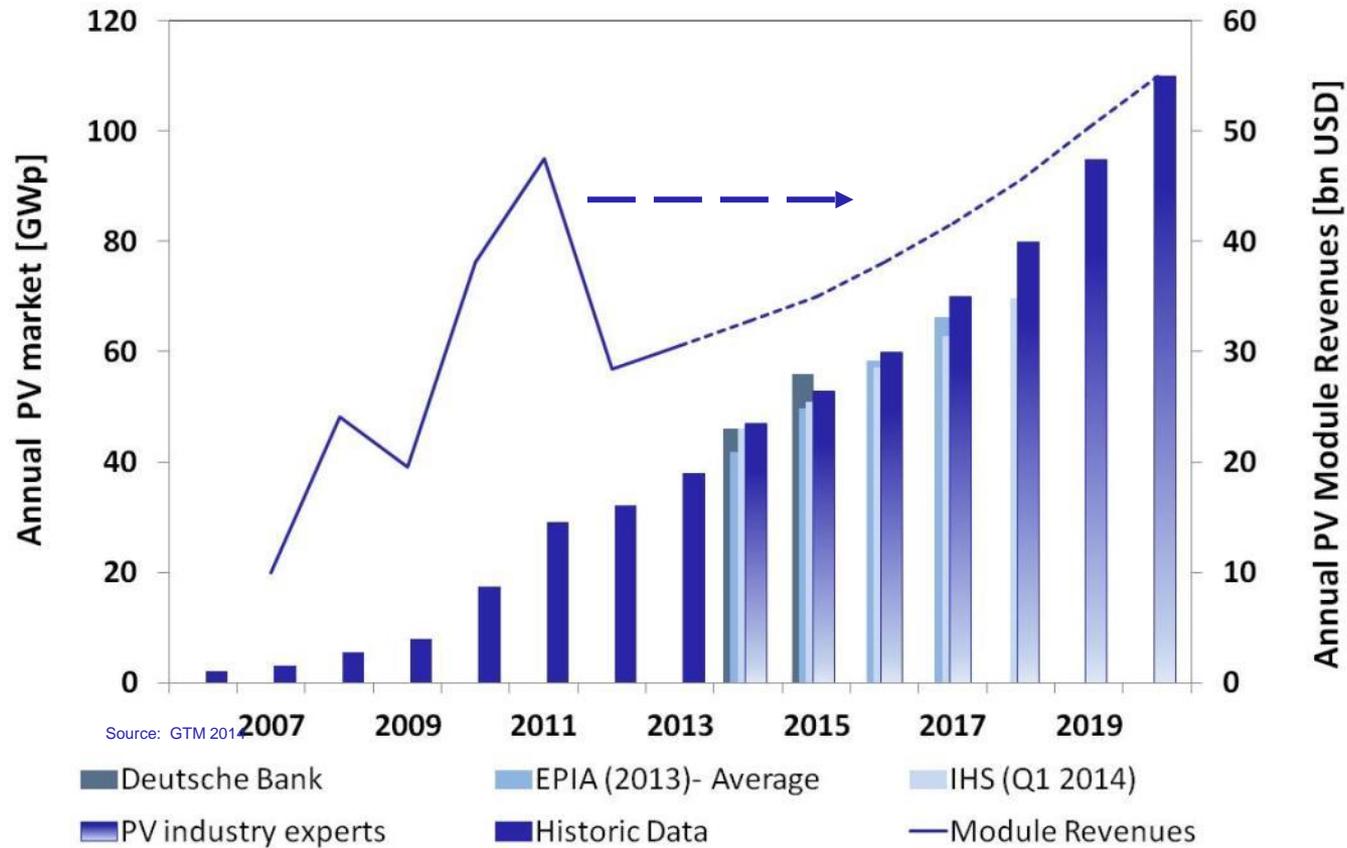
Prognose bis 2017



Prognose der Entwicklung von Angebot und Nachfrage im globalen PV-Markt.

Quelle: Lux Research Inc., Grafik: PSE AG

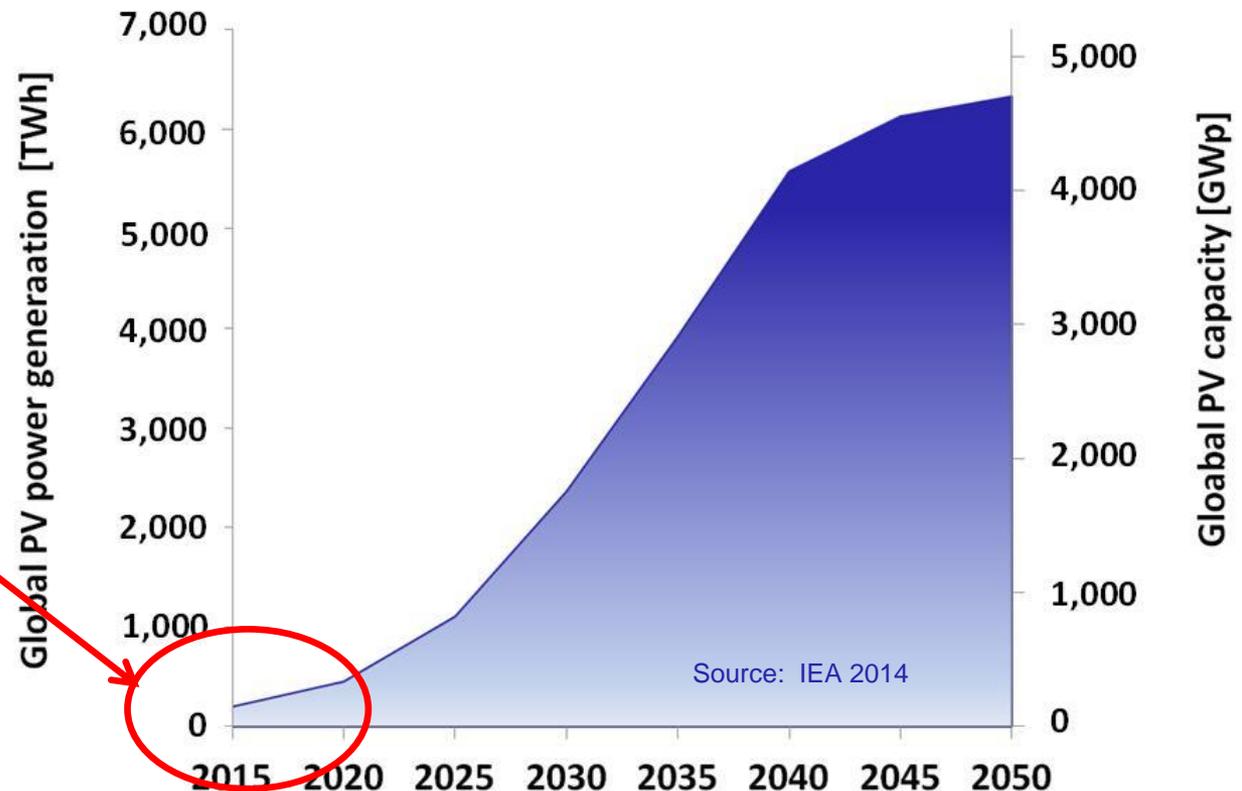
Globaler PV-Markt



- Der globale PV Markt wird rasch weiter steigen und 2020 um die 100GW/a erreichen!

PV Markt Wachstum (IEA 2014)

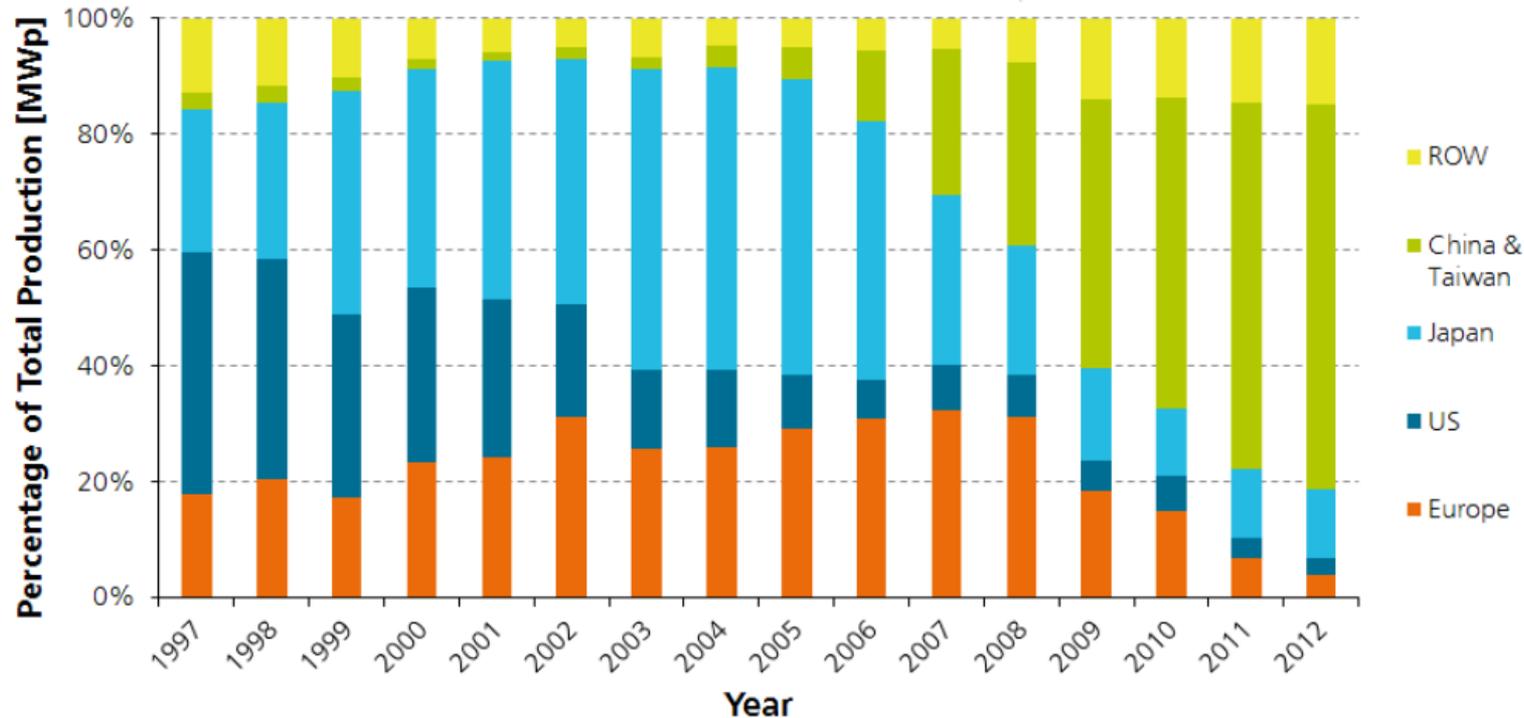
- Die rasche Implementierung der globalen PV wird angetrieben durch die Verfügbarkeit von preiswerter, sauberer und verteilt bereit gestellter Energie
- Mehr als 4.000 GW_p an solarer PV werden bis 2050 installiert werden



Wir sind noch ganz am Anfang der globalen Wachstumskurve!!

PV-Produktionskapazität nach Regionen 1997-2012

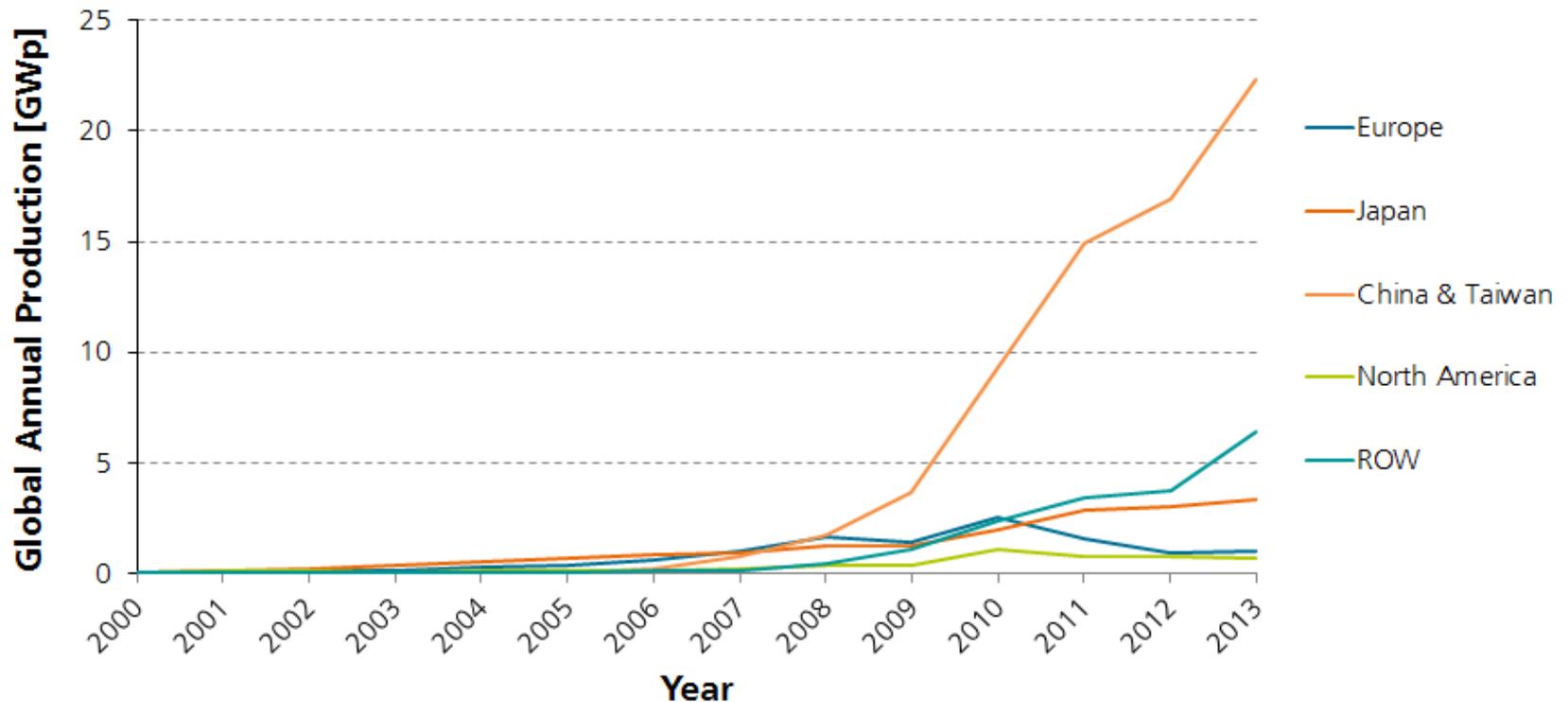
Wird China den 100 GW/a Weltmarkt 2020 dominieren?



Anteile der Produktionskapazität von PV-Modulen nach Regionen von 1997-2012.

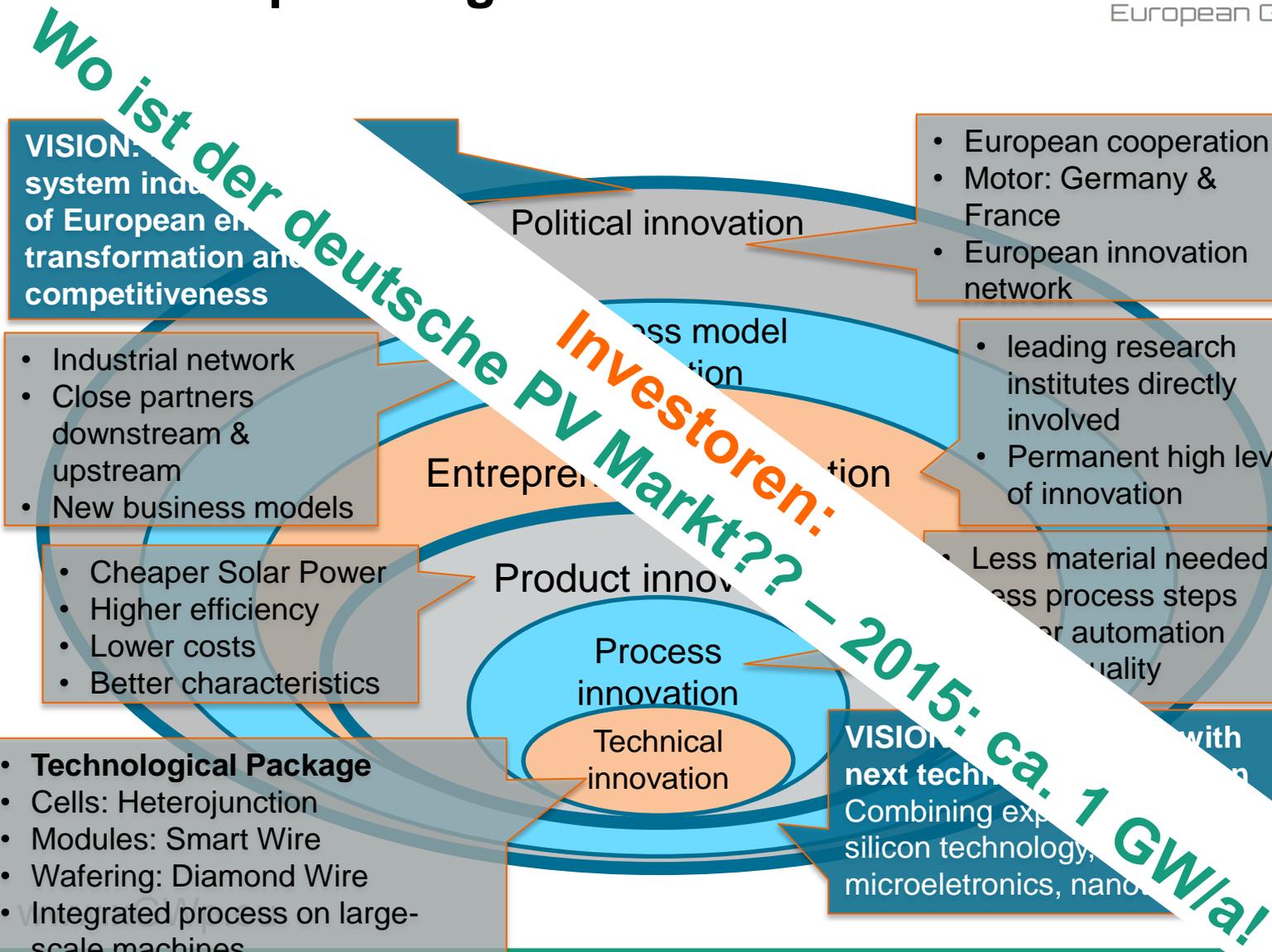
Quelle: Navigant Consulting, Grafik: PSE AG 2013

PV Industry Production by Region (2000-2013)



Data: Navigant Consulting and Paula Mints. Graph. PSE AG 2014

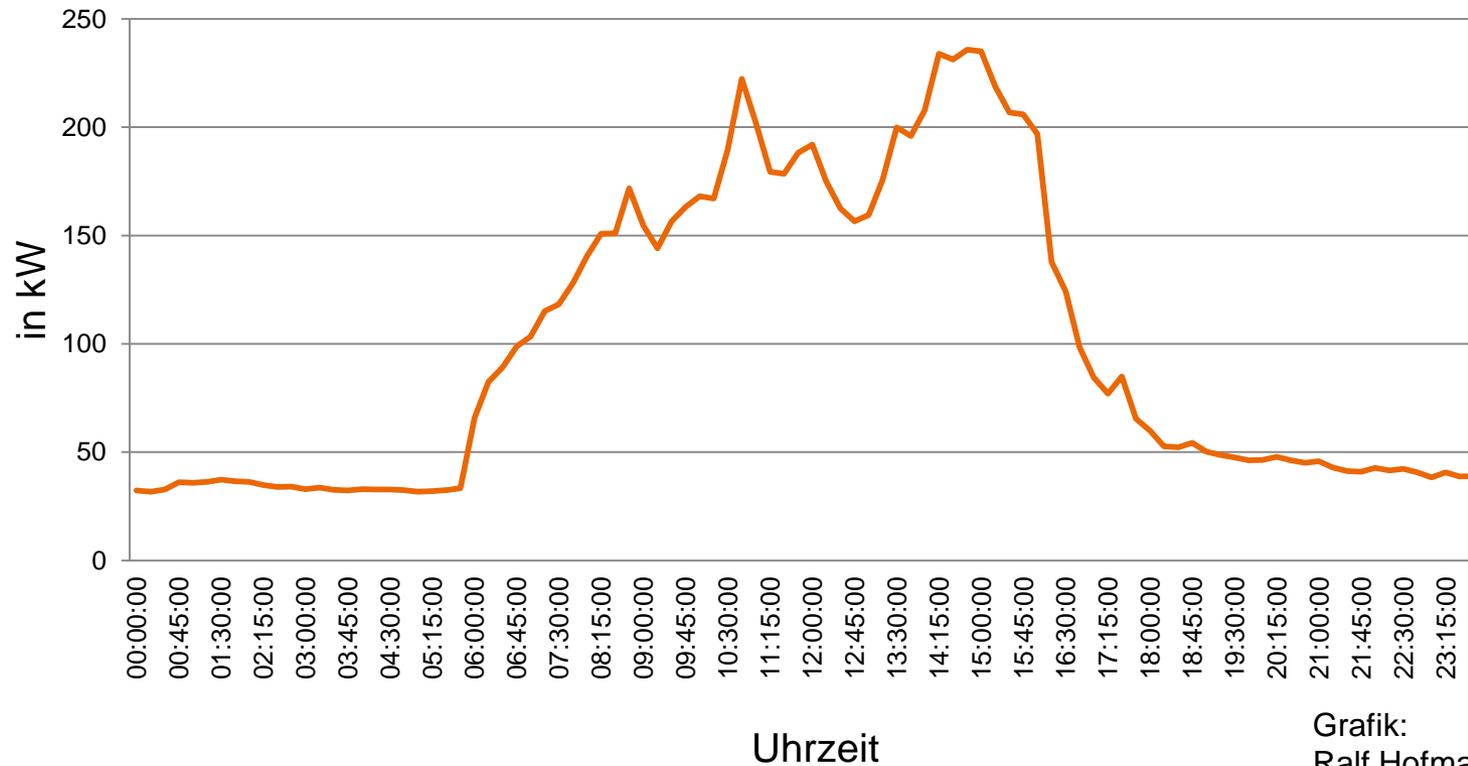
xr European Gigawatt PV Production



Täglicher Stromverbrauch – Juli 2013

Fab 5

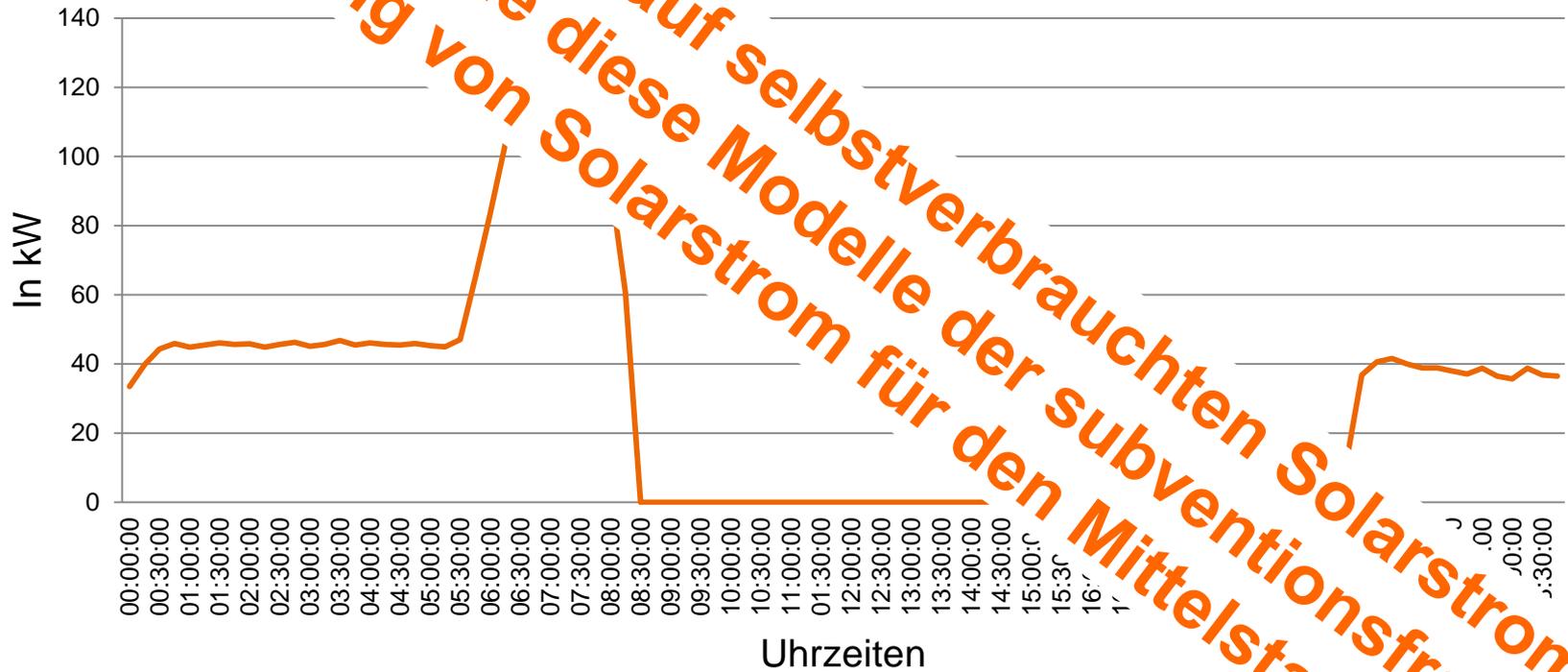
Dienstag, den 16.07.2013



Grafik:
Ralf Hofmann, CEO KACO

10 kW PV System

den 20.08.2013



Kosten: € 2M, Einsparung Stromkosten: € 350.000/a!

Regenerative Energien Modell REMoD-D: Ansatz Strukturoptimierung

Exogene Vorgaben

CO₂-Emissionen →
verfügbare Menge
fossiler Energieträger

Weitere externe
Randbedingungen (z.B.
verfügbare Biomasse, ...)

Optimierer
Optimierung
Gesamtsystem
(Minimierung
jährliche
Gesamtkosten)



Ergebnisse

Installierte Leistung
aller Komponenten

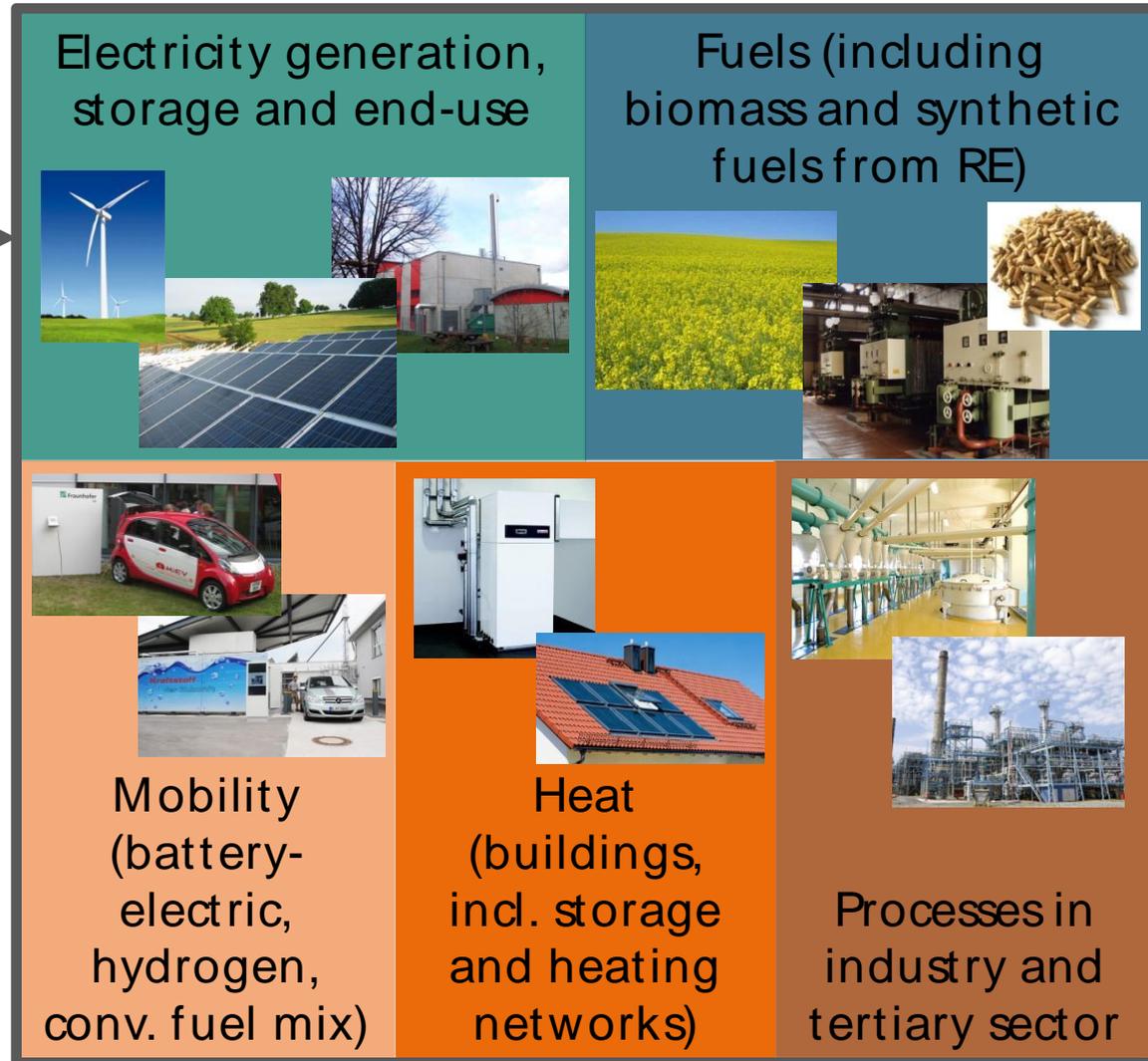
Größe Speicher

Umfang energetische
Sanierung Gebäude

Wärmeversorgungs-
techniken Gebäude-
sektor (Wärme-netze,
dezentral)

Optimization of Germany's future energy system based on hourly modeling

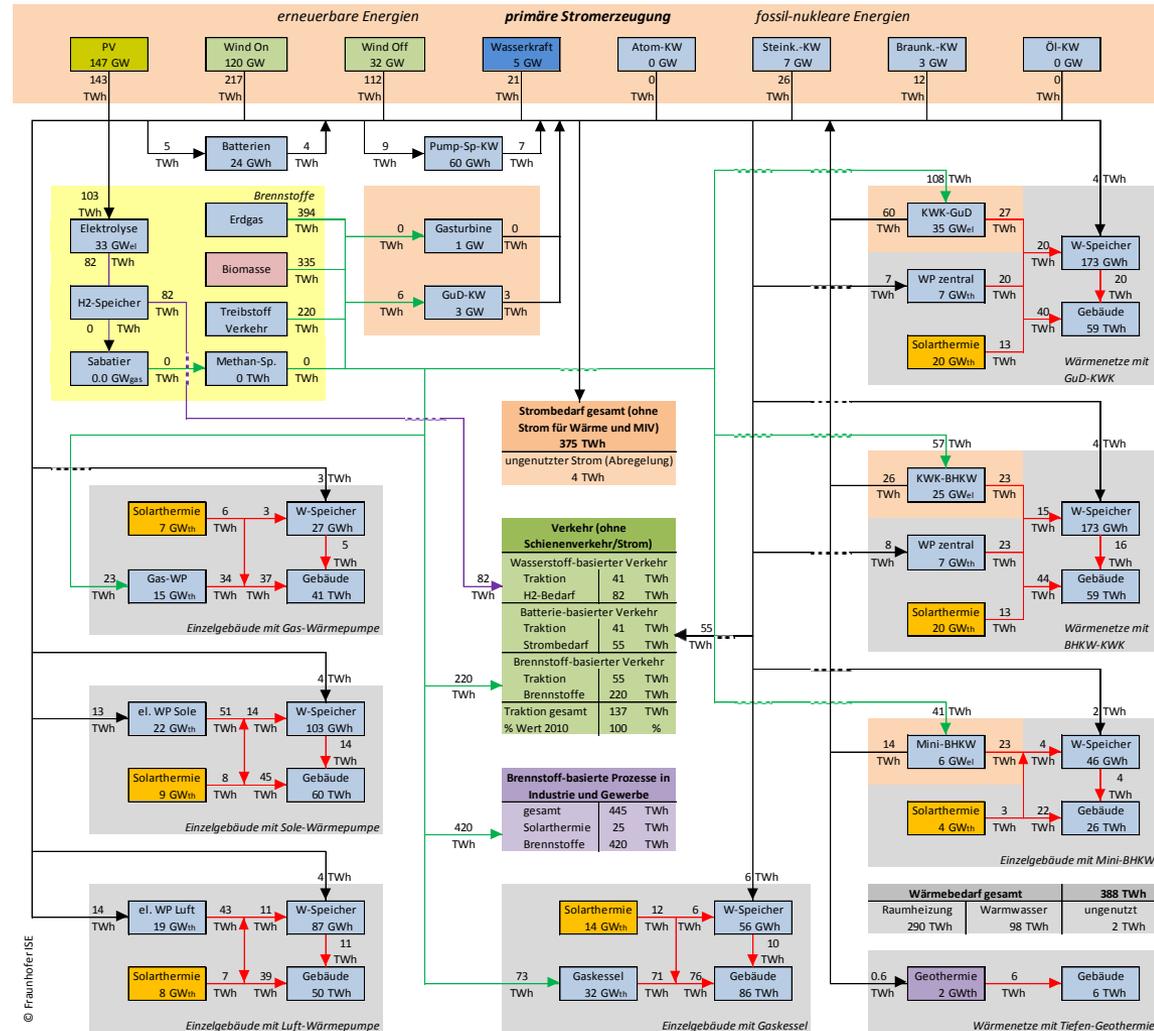
Comprehensive analysis of the overall system



REM od-D
Renewable Energy Model – Deutschland

Slide courtesy Hans-Martin Henning 2014

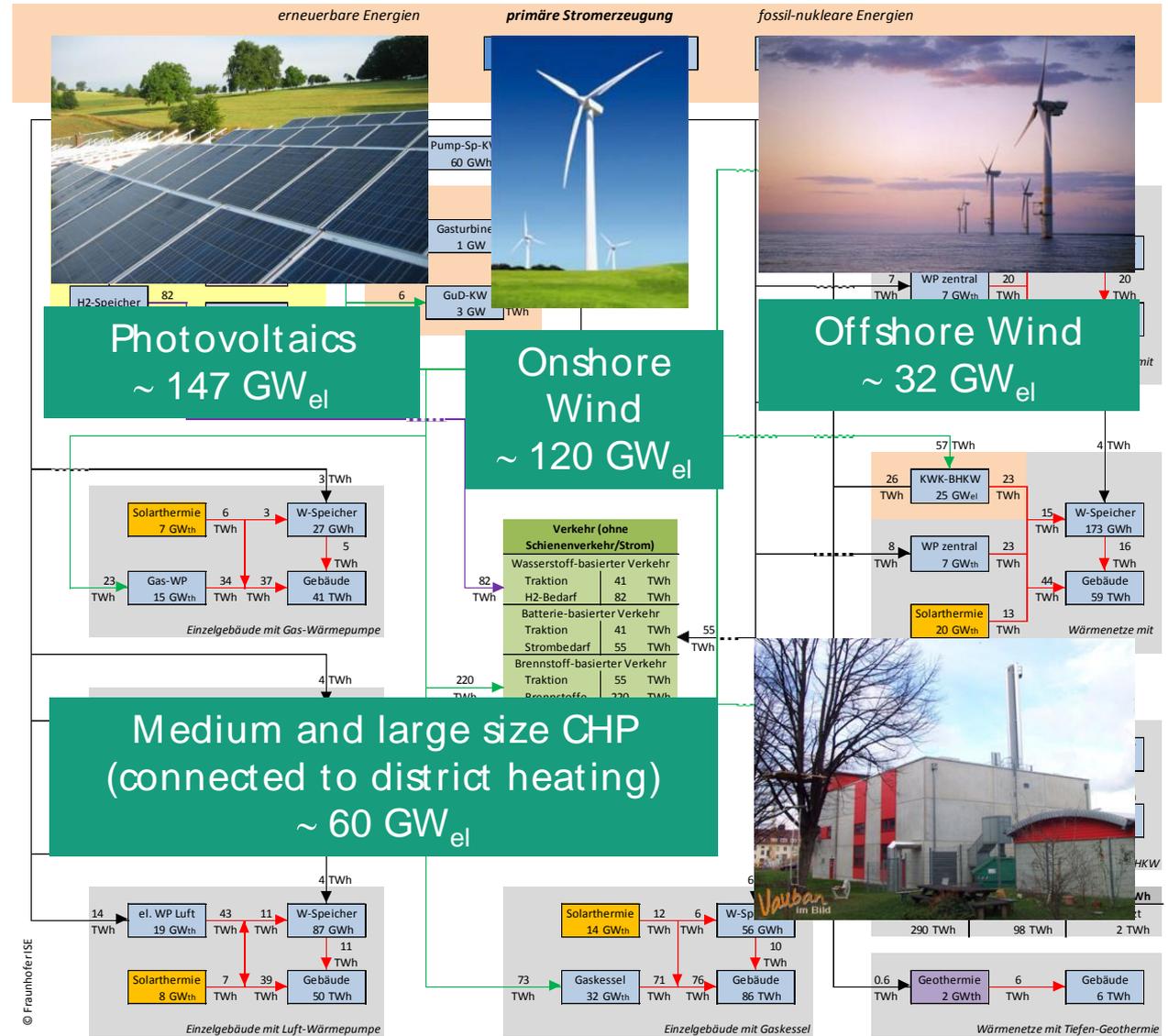
Optimization of Germany's future energy system based on hourly modeling



REM od-D
Renewable Energy Model – Deutschland

Slide courtesy Hans-Martin Henning 2014

Electricity generation



Slide courtesy Hans-Martin Henning 2014

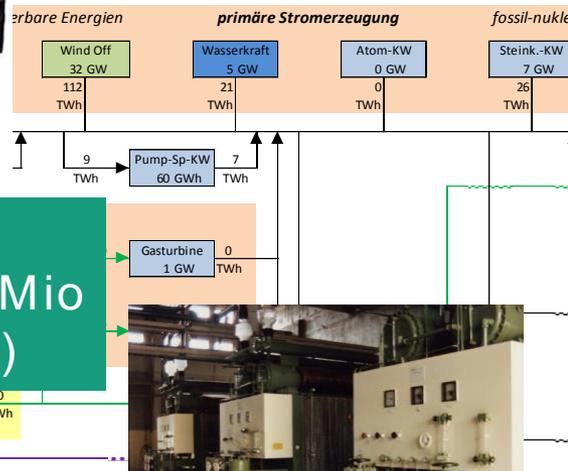
Storage



Stationary batteries
Total ~24 GWh (e.g. 8 Mio units with 3 kWh each)



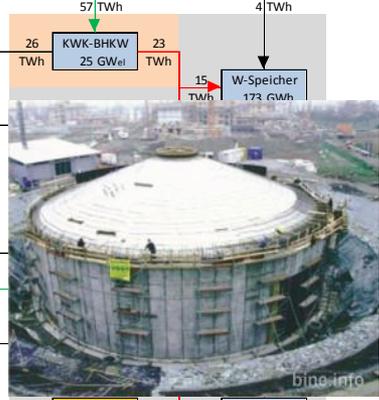
Pumped storage power plants
42 units with a total of 60 GWh



Electrolysers with total capacity of 33 GW_{el} (needed for mobility)



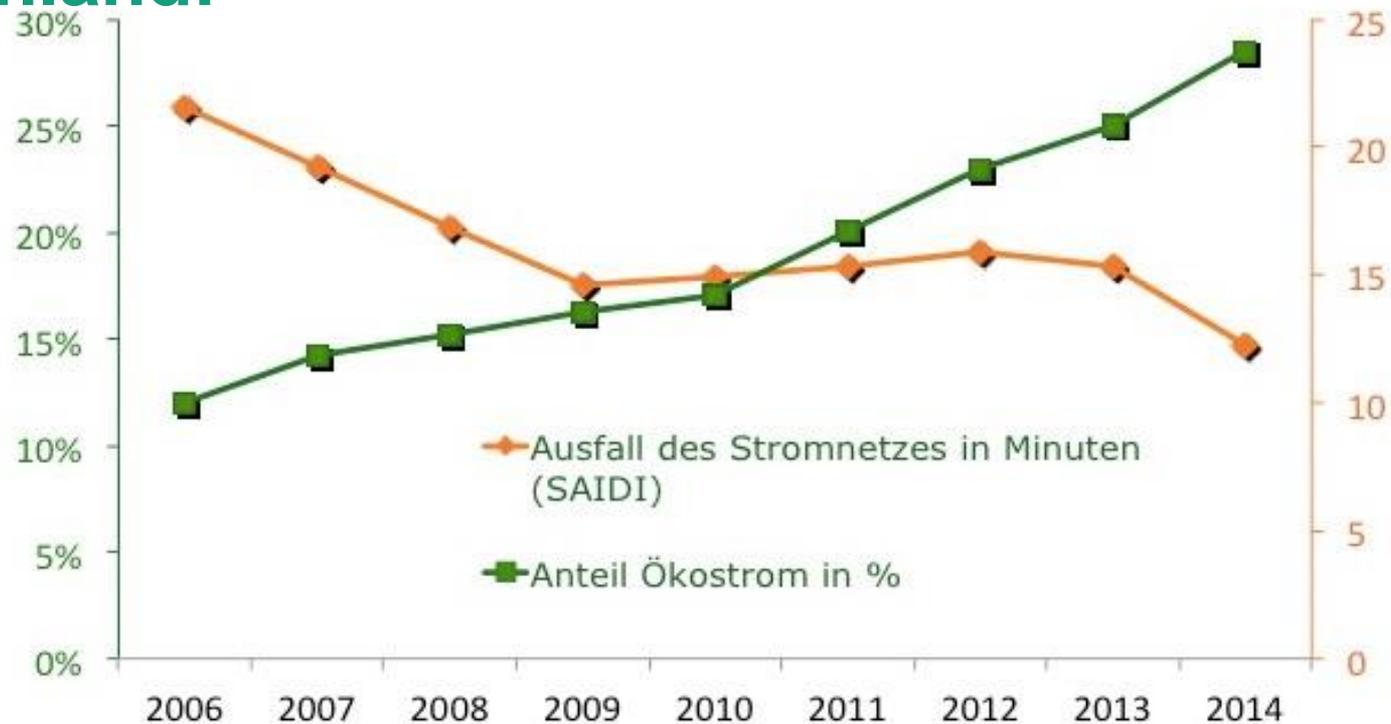
Heat buffers in buildings
Total ~320 GWh (e.g. 7 Mio units with 800 Litres each)



Large scale heat storage in district heating systems
Total ~350 GWh (e.g. 150 units with 50.000 m³ each)

Slide courtesy Hans-Martin Henning 2014

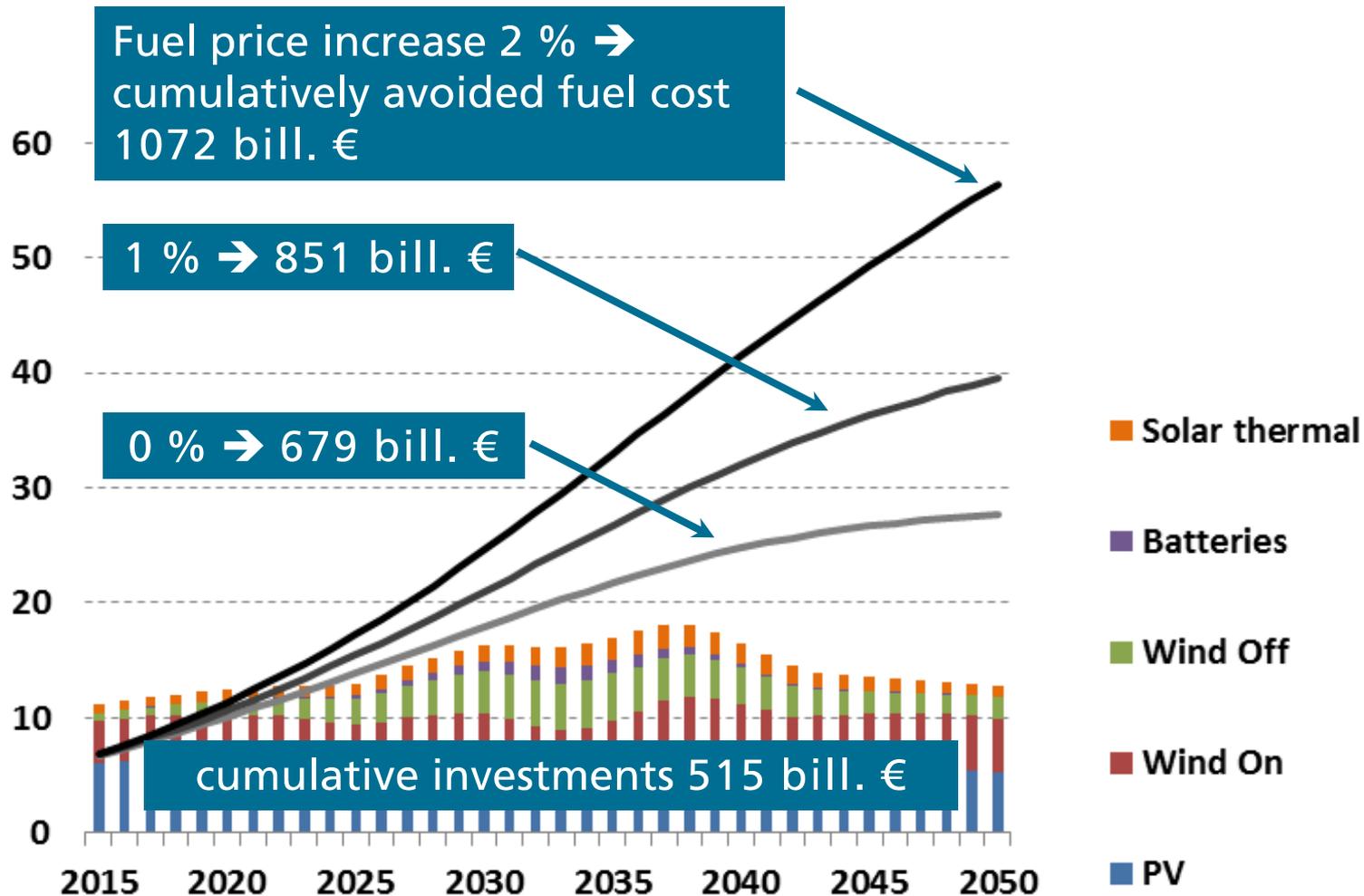
Zur Frage der Netzstabilität: Ökostromausbau festigt Netzstabilität in Deutschland!



Quelle: Bundesnetzagentur (2015); http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Stromnetze/Versorgungsqualitaet/Versorgungsqualitaet-node.html; BMU, BEE, bdew

Hans-Josef Fell – MdB (1998-2013)
Präsident der Energy Watch Group

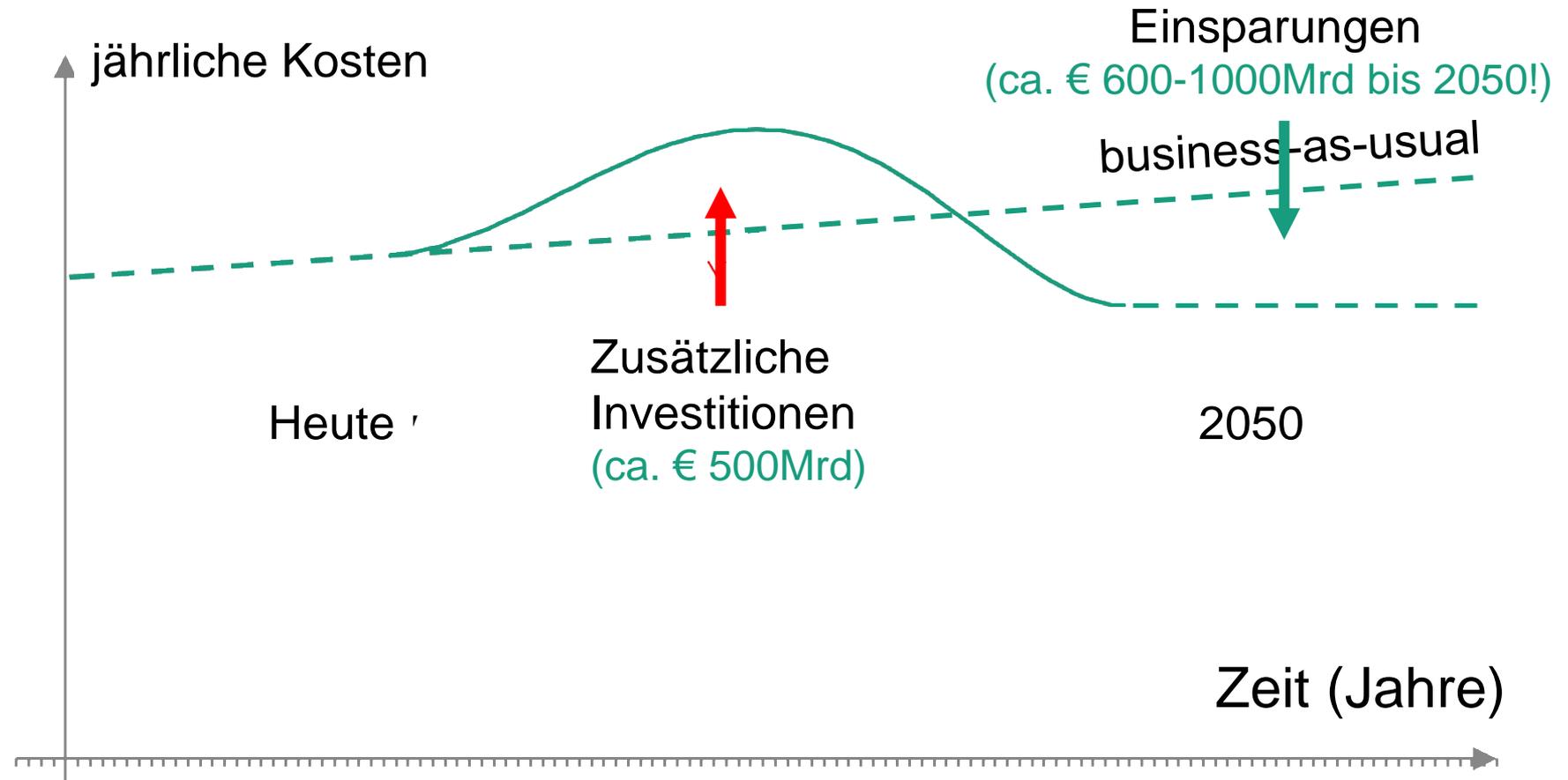
Investments vs. saved fuel cost in bill. € p.a.



Slide courtesy Hans-Martin Henning 2014

Die Kosten der Transformation des Energiesystems

Qualitative Darstellung der jährlichen Energiekosten



Die wahre Story der PV

- Deutschland schuf durch das EEG die Voraussetzungen für ein rasches Volumenwachstum der PV; die Kombination von weltführender Forschung und Technologieentwicklung mit dem wachsenden Markt ermöglichten uns, die Lernkurve sehr viel rascher als erwartet herunterzukommen.
- China als Staat und besonders die konkurrierenden Regionen stellten Investmittel zur Verfügung um PV-Fabriken bis zu 60 GW oder mehr zu bauen; über 50 % der Ausrüstung wurde bei uns geordert.
- Modulpreise fielen als Folge der zu rasch aufgebauten Kapazitäten in die Gegend von 0,50 €/W_p, zur Freude der Verbraucher bei uns und weltweit.
- Viele der heute bestehenden Produktionskapazitäten erlauben nicht, Module zu unter 0,50 €/W_p zu produzieren; wir erleben Insolvenzen oder Übernahmen und Stilllegung von Kapazitäten auf altem Equipment.
- Ab 2014 wird der zu Solar-Strompreisen von 5-8 ct/kWh weltweit rasch wachsende Markt neue Produktionskapazitäten verlangen.

Die wahre Story der PV

Vorteile in Deutschland

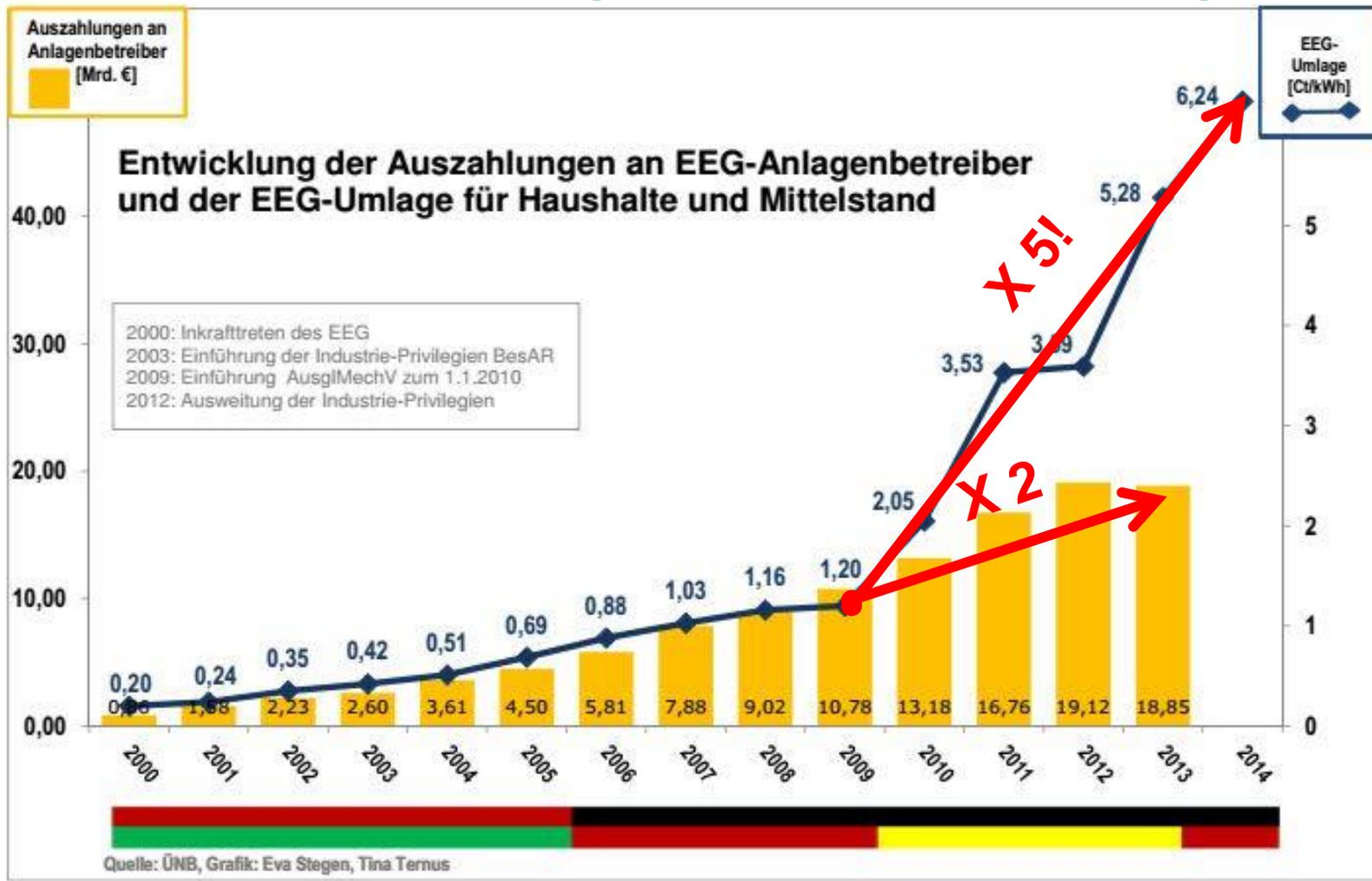
- Deutschland schuf durch das EEG die Voraussetzungen für ein rasches Volumenwachstum der PV; die Kombination von weltführender Forschung und Technologieentwicklung mit dem wachsenden Markt ermöglichten uns, die Lernkurve sehr viel rascher als erwartet herunterzukommen.
- China als Staat und besonders die konkurrierenden Regionen stellten Investmittel zur Verfügung um **PV-Fabriken** bis zu 60 GW oder mehr zu bauen; über 50 % der **Ausrüstung wurde bei uns geordert**.
- **Modulpreise** fielen als Folge der zu rasch aufgebauten Kapazitäten in die Gegend von 0,50 €/W_p, **zur Freude der Verbraucher bei uns** und weltweit.
- Viele der heute bestehenden Produktionskapazitäten erlauben nicht, Module zu unter 0,50 €/W_p zu produzieren; wir erleben Insolvenzen oder Übernahmen und Stilllegung von Kapazitäten auf altem Equipment.
- Ab 2014 wird der zu Solar-Strompreisen von 5-8 ct/kWh weltweit rasch wachsende Markt **neue Produktionskapazitäten** verlangen.

Die wahre Story der PV – Die EEG-Umlage

- Die EEG-Umlage wurde geschaffen, um die Zusatzkosten durch den Einspeisetarif für die erneuerbaren Energien auf alle Stromabnehmer zu verteilen.
- Von Anfang an waren die stromintensiven Unternehmen im internationalen Wettbewerb ausgenommen.
- Im Jahr 2009 wurde eine wesentliche Umgestaltung des Umwälzmechanismus dieser Kosten beschlossen.

Entwicklung der EEG-Umlage

2009-2013: Auszahlungen + 100%, EEG-Umlage + 400%!



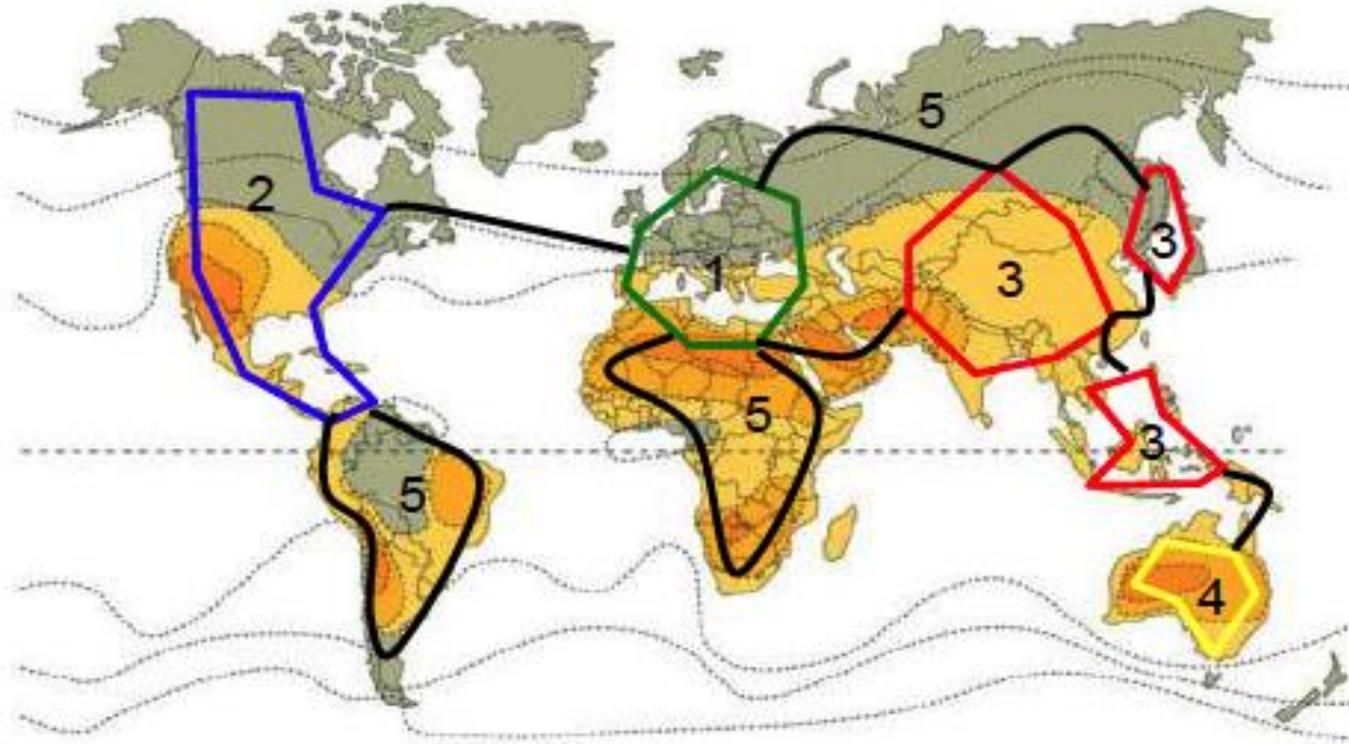
Die wahre Story der PV – Die EEG-Umlage

- Die EEG-Umlage wurde geschaffen, um die Zusatzkosten durch den Einspeisetarif für die erneuerbaren Energien auf alle Stromabnehmer zu verteilen.
- Von Anfang an waren die stromintensiven Unternehmen im internationalen Wettbewerb ausgenommen.
- **Im Jahr 2009 wurde eine wesentliche Umgestaltung des Umwälzmechanismus dieser Kosten beschlossen.**
- Folge dieser Umgestaltung war ein rascher Anstieg der EEG-Umlage, obwohl die Auszahlungen an die Einspeiser erneuerbarer Energien nur mäßig stiegen.
- Der gegen die Energiewende aufgestellte Teil der Wirtschaft versucht erfolgreich, den Anstieg der EEG-Umlage zum Ausbremsen der weiteren Energiewende zu instrumentalisieren!

Die Ernte der Solarenergie als ein Schlüsselpfeiler der Energiewende

- Die Solarenergie ist zusammen mit der Windenergie einer der zentralen Pfeiler der Energiewende, der Transformation unseres Energiesystem hin zu effizienter Nutzung von mehr und mehr erneuerbaren Energien.
- Globale Überkapazität führte zu rapide gesunkenen PV-Modul Preisen, die den weltweiten Markt weiter beschleunigen; der '2. Gold-Rausch' steht vor der Tür, der 30-40 GW_p/a Markt wird rasch auf 100-300GW_p/a wachsen.
- PV-Zellen und -Module sind keine *commodity*, technologischer Fortschritt in dieser Spitzentechnologie erlaubt Preise und Kosten weiter zu senken.
- Die entscheidende Frage wird sein, ob wir diesen Schlüsselmarkt den asiatischen Herstellern überlassen oder unseren Technologiefortschritt nutzen, um selbst kommende Technologiegenerationen einzuführen
- **Wenn wir die forschungs- und industriepolitischen Weichen richtig stellen, haben wir *vielleicht noch* eine Chance, unsere ausgezeichnete Stellung im internationalen Wettbewerb zur globalen Energiewende zu erhalten!**

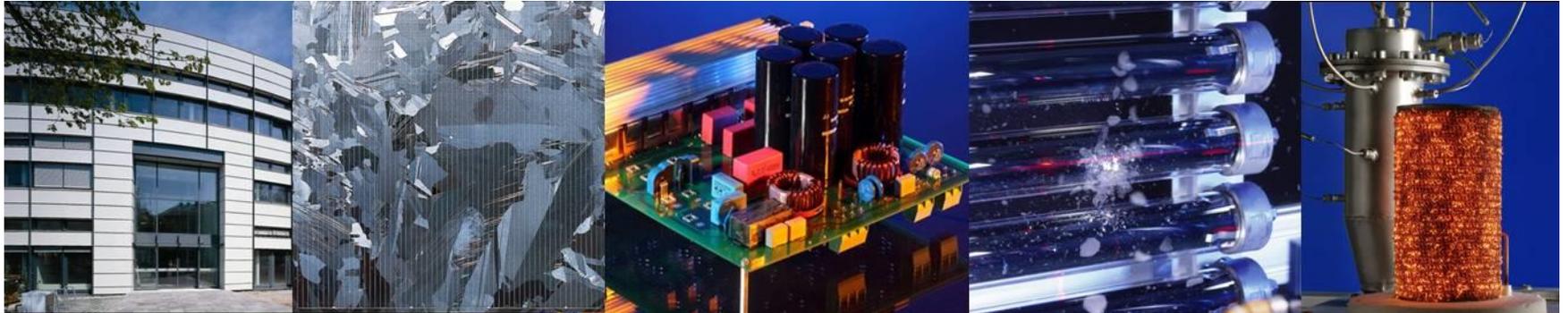
Das globale Supergrid der Zukunft



Source: Solar Millennium AG, Schott Solar

Die Sonne scheint zu jeder Tageszeit auf einen Teil der Erde!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Eicke R. Weber mit
Hans-Martin Henning, Bruno Burger, Thomas Schlegl, Gerhard Stryi-Hipp.....

www.ise.fraunhofer.de
eicke.weber@ise.fraunhofer.de



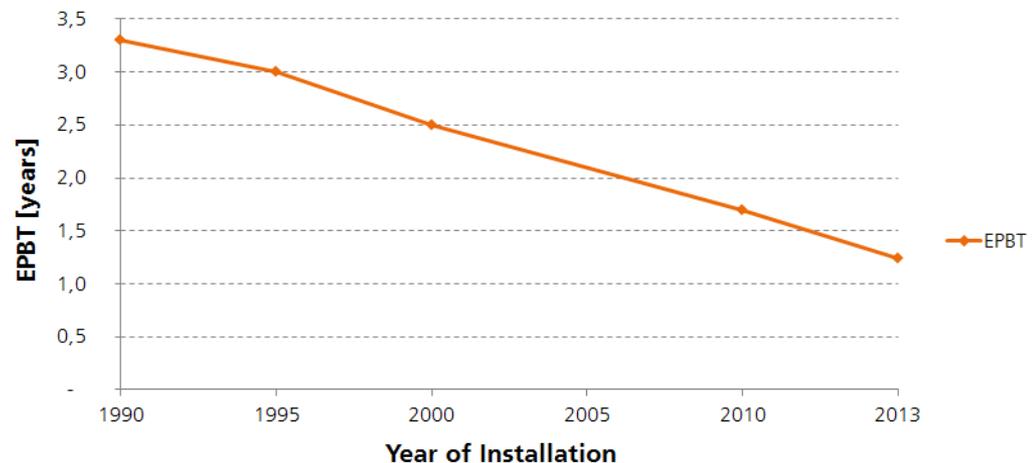
Walter-Scheel Preis 2015
Bad Godesberg, 8. September, 2015

Historic Trend in Energy Payback Time of Crystalline Silicon PV Modules

Depending on the technology and location of the PV system, the EPBT today ranges from 0.7 to 2 years.

Rooftop PV systems produce net clean electricity for approx. 95 % of their lifetime, assuming a life span of 30 years or more.

EPBT of multicrystalline PV rooftop systems installed in Southern Europe (Irradiation: 1700 kWh/m²/a at an optimized tilt angle)



Data: EPIA Sustainability Working Group Fact Sheet 2011; since 2010: M.J. de Wild-Scholten 2013. Graph: PSE AG 2014