

---

# DIE ZUKUNFT DER PHOTOVOLTAIK – WER WIRD VOM »2. GOLD-RAUSCH« PROFITIEREN?

---



Prof. Dr. Eicke R. Weber

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

Erneuerbare Energie im  
Energiesystem 2.0  
Fürstenberg-Forum  
Stuttgart, 23. September 2014  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

# Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

## Forschung für die Energiewende

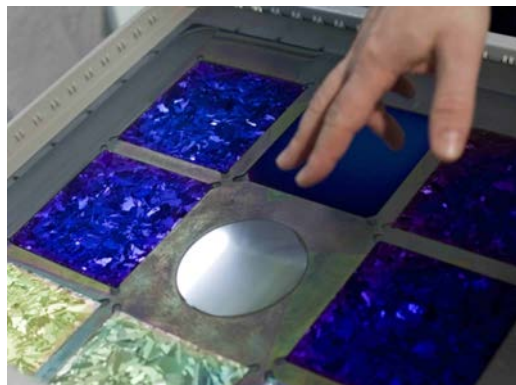
- größtes europäisches Solarforschungsinstitut
- mit ca. 1300 Mitarbeitern (inkl. Studenten)
- 16 % Grundfinanzierung
- 84 % Projektforschung, 29 % Industrie, 55 % öffentlich
- 86,7 Mio. € Budget (2013, inkl. Investitionen)
- > 10 % Wachstumsrate (bis 2013)



# Fraunhofer ISE

## Außenstandorte

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



Fraunhofer LSC



Fraunhofer THM

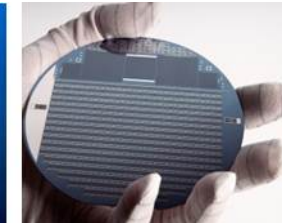
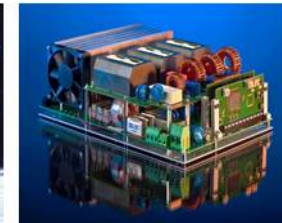


Fraunhofer CSP

# Fraunhofer ISE

## 12 Geschäftsfelder

Fotos © Fraunhofer ISE

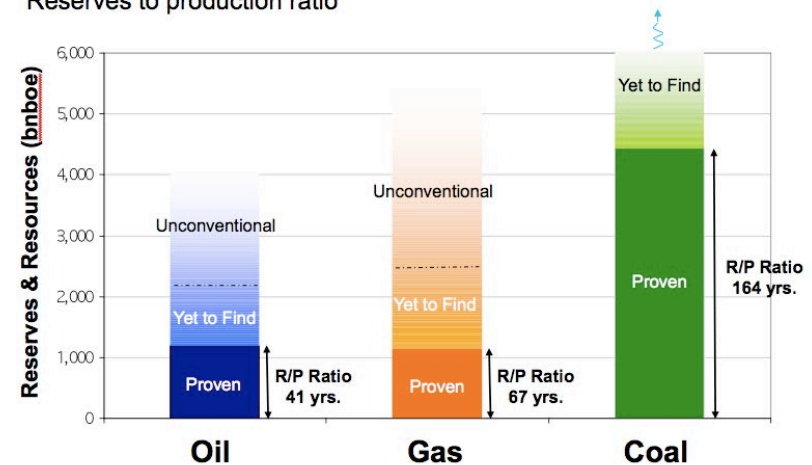


- Energieeffiziente Gebäude
- Silicium-Photovoltaik
- III-V- und Konzentrador- Photovoltaik
- Farbstoff-, Organische und Neuartige Solarzellen
- Photovoltaische Module und Kraftwerke
- Solarthermie
- Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
- Systemintegration und Netze – Strom, Wärme, Gas
- Energieeffiziente 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.

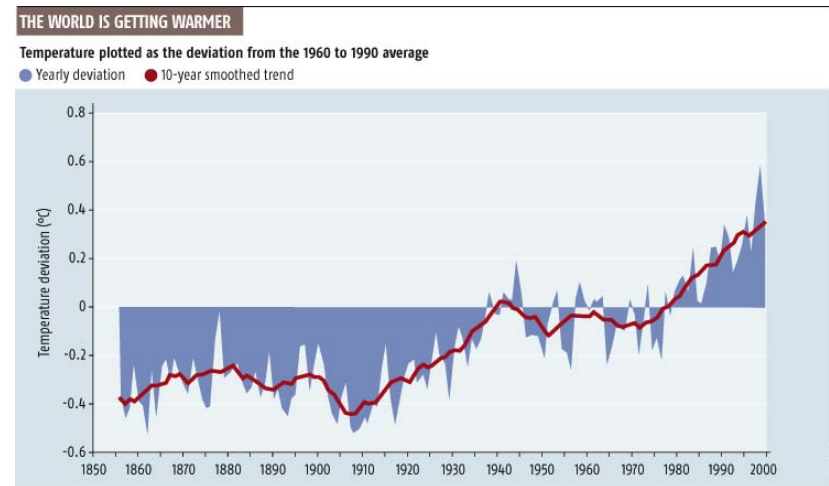
# Eine radikale Transformation unseres globalen Energiesystems ist erforderlich

- 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.

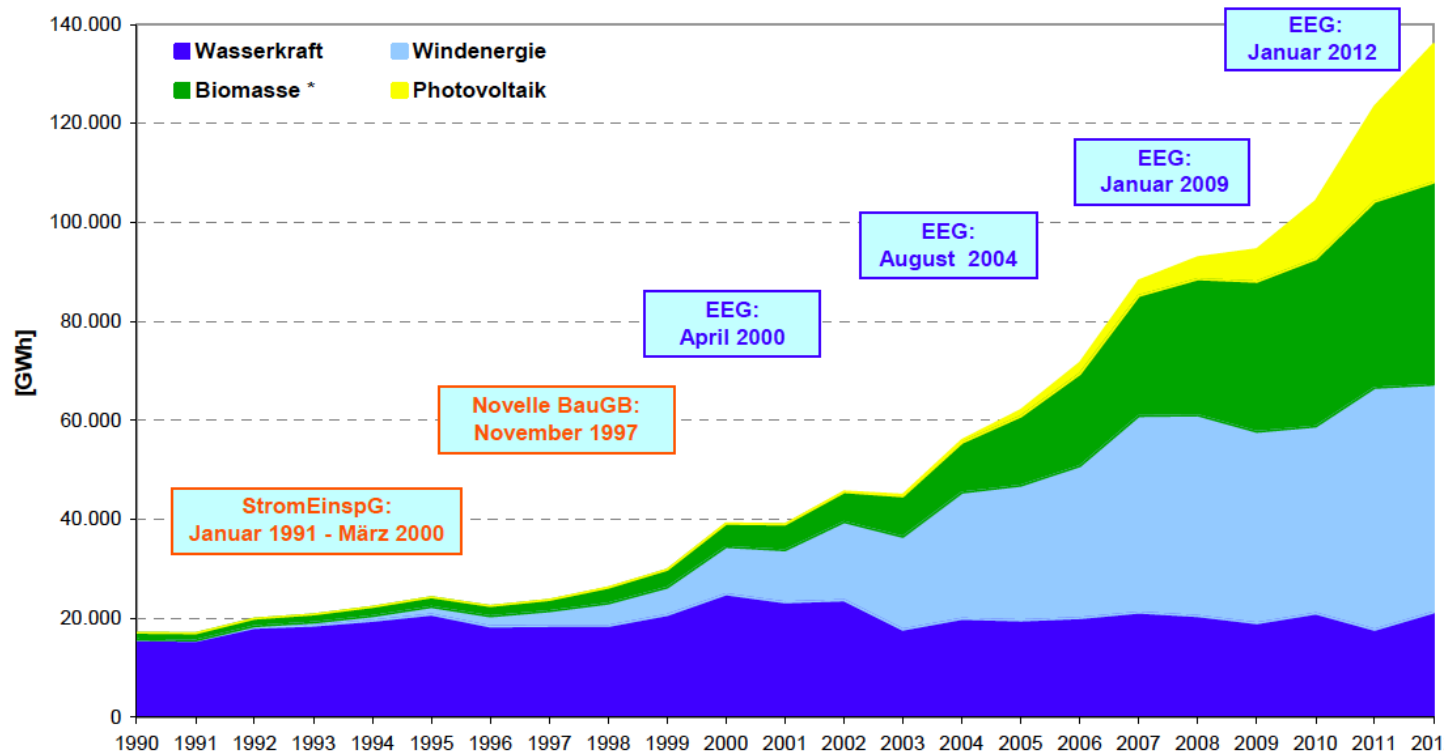
# Energiewende

## 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)
- Integration des Strom-, Gas- & Wärmenetzes



# Strom Herstellung aus erneuerbaren Energien Entwicklung in Deutschland 1990-2012



Year 2012

**Total\*** 22.9%  
136.1 TWh

**PV** 4.7%  
28.0 TWh  
32.6 GW

**Bio** 6.9%  
40.9 TWh

**Wind** 7.7%  
46.0 TWh  
31.3 GW

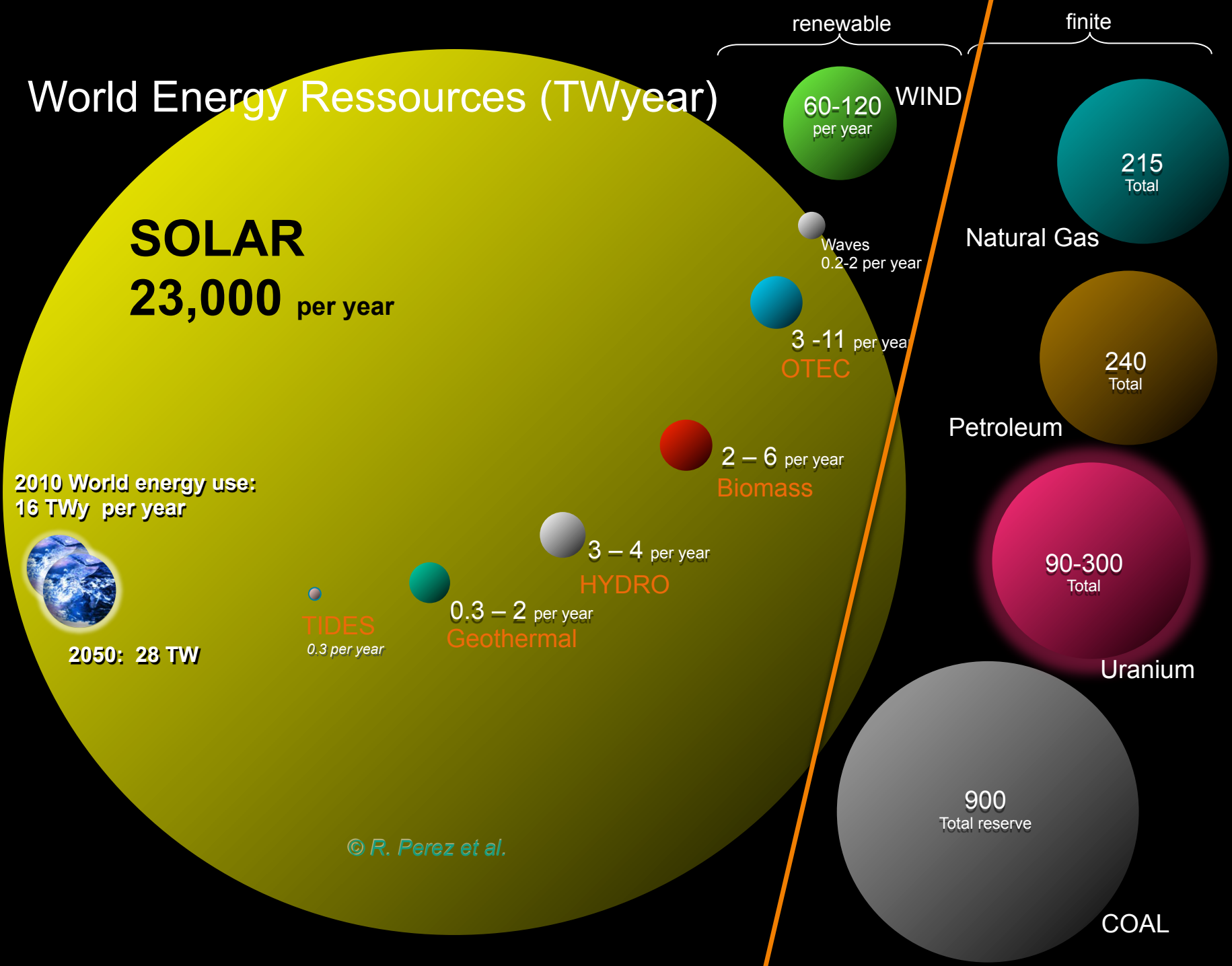
**Hydro** 3.6%  
21.2 TWh

\* gross electricity demand

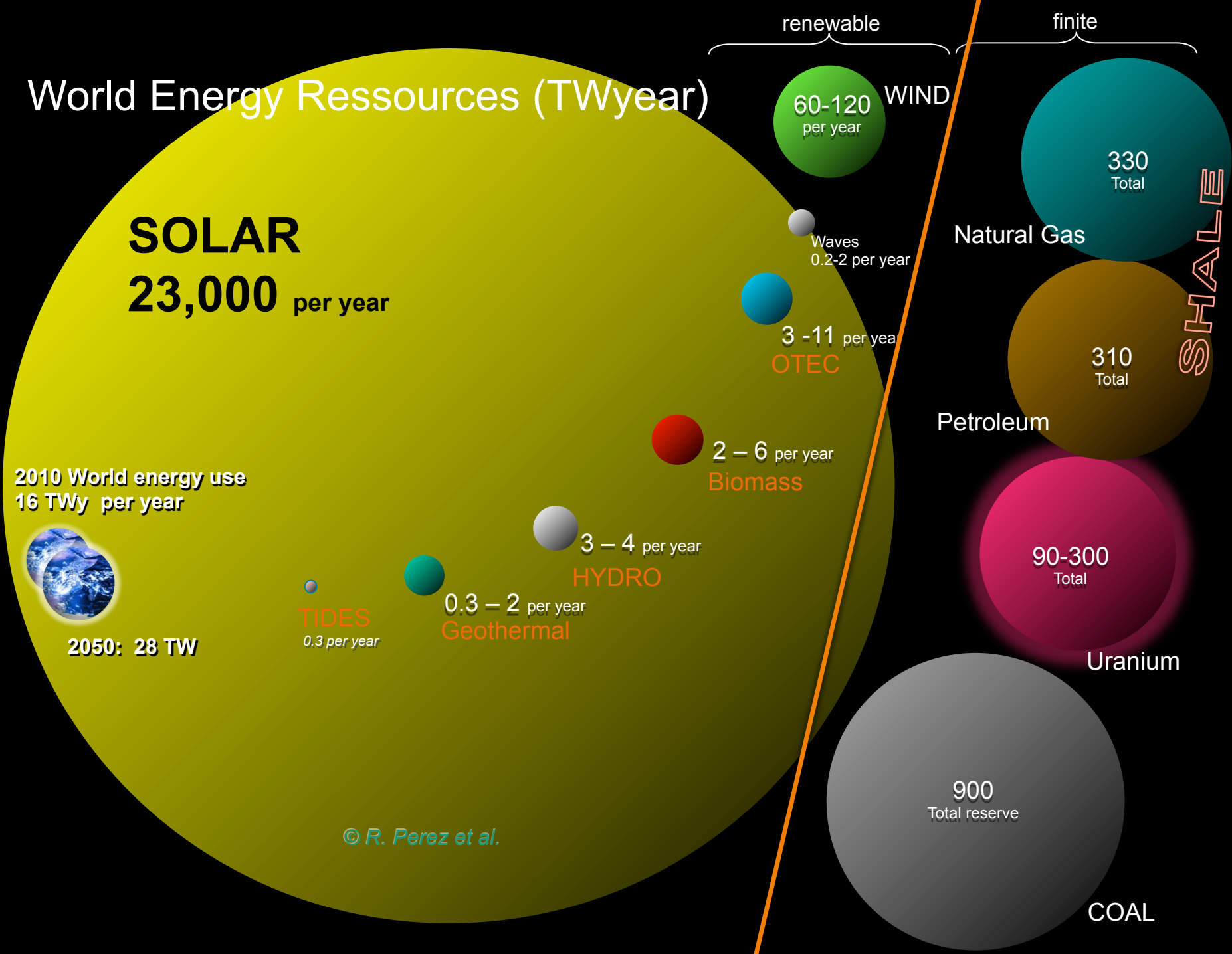
\* Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Klär- und Deponiegas, biogener Anteil des Abfalls; 1 GWh = 1 Mio. kWh;  
Aufgrund geringer Strommengen ist die Tiefengeothermie nicht dargestellt; StromEinspG: Stromeinspeisungsgesetz; BauGB: Baugesetzbuch; EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz;  
Quelle: BMU - E 1 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2013; Angaben vorläufig



# World Energy Resources (TW/year)



# World Energy Resources (TW/year)

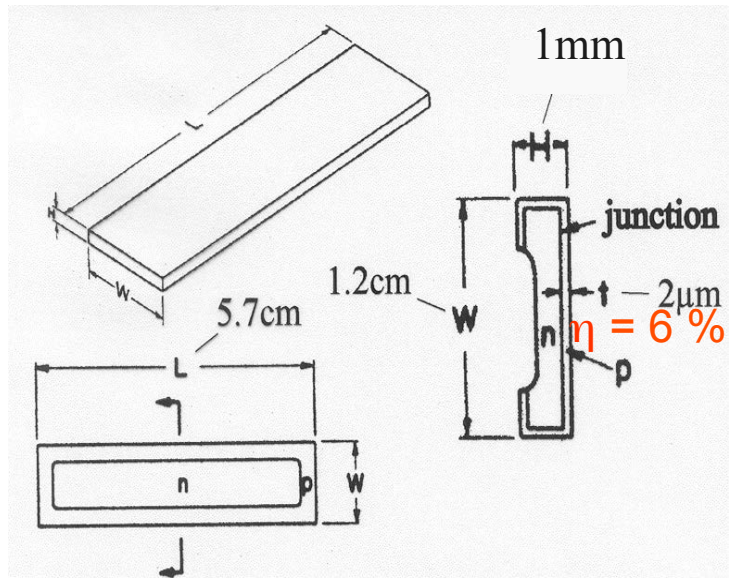


# 1954: Geburt der Photovoltaik

## 2014: 60 Jahre c-Si PV!

### A New Silicon *p-n* Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power

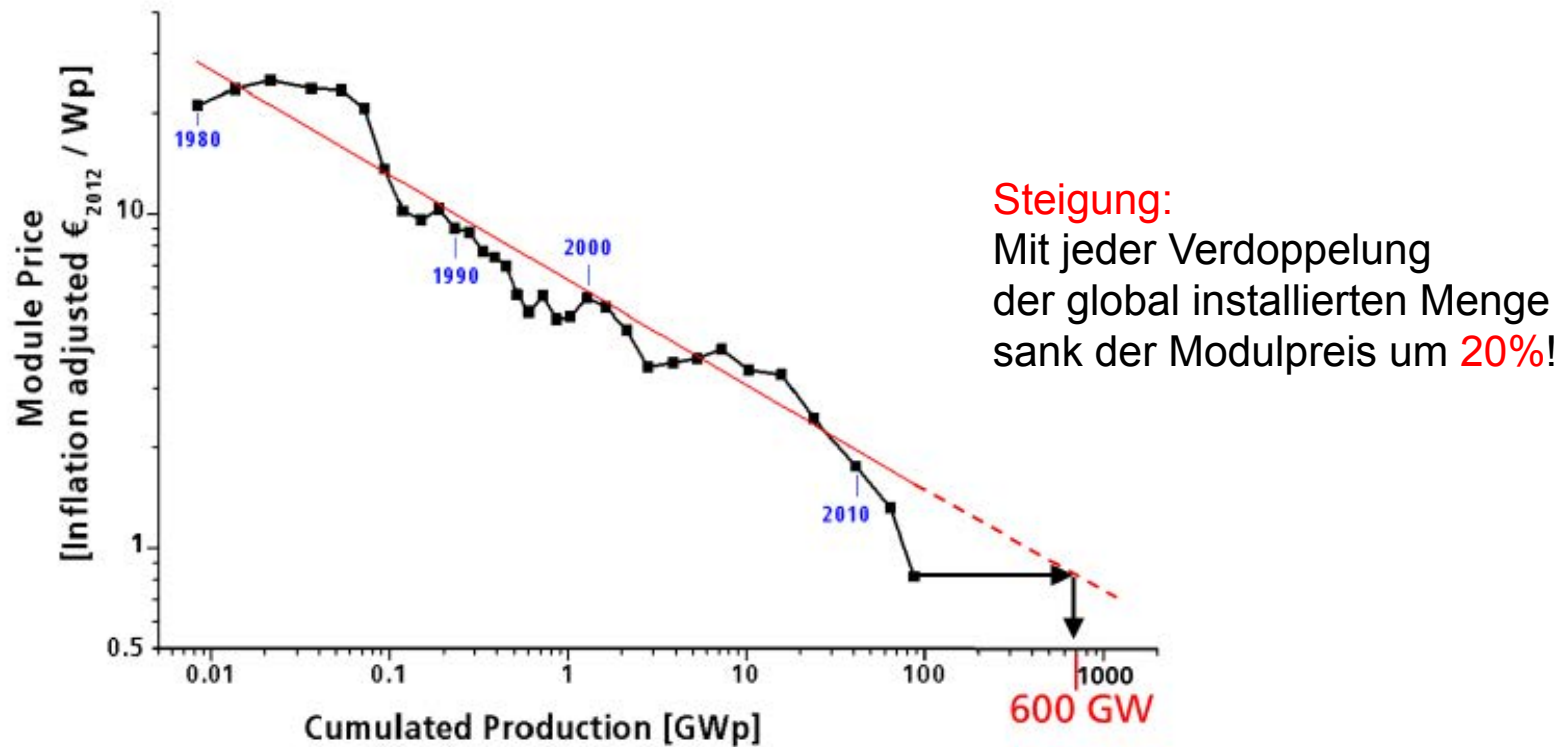
D. M. CHAPIN, C. S. FULLER, AND G. L. PEARSON  
*Bell Telephone Laboratories, Inc., Murray Hill, New Jersey*  
(Received January 11, 1954)



Slide Courtesy G. Willeke, Fraunhofer ISE

# Die Kosten der Solarenergie

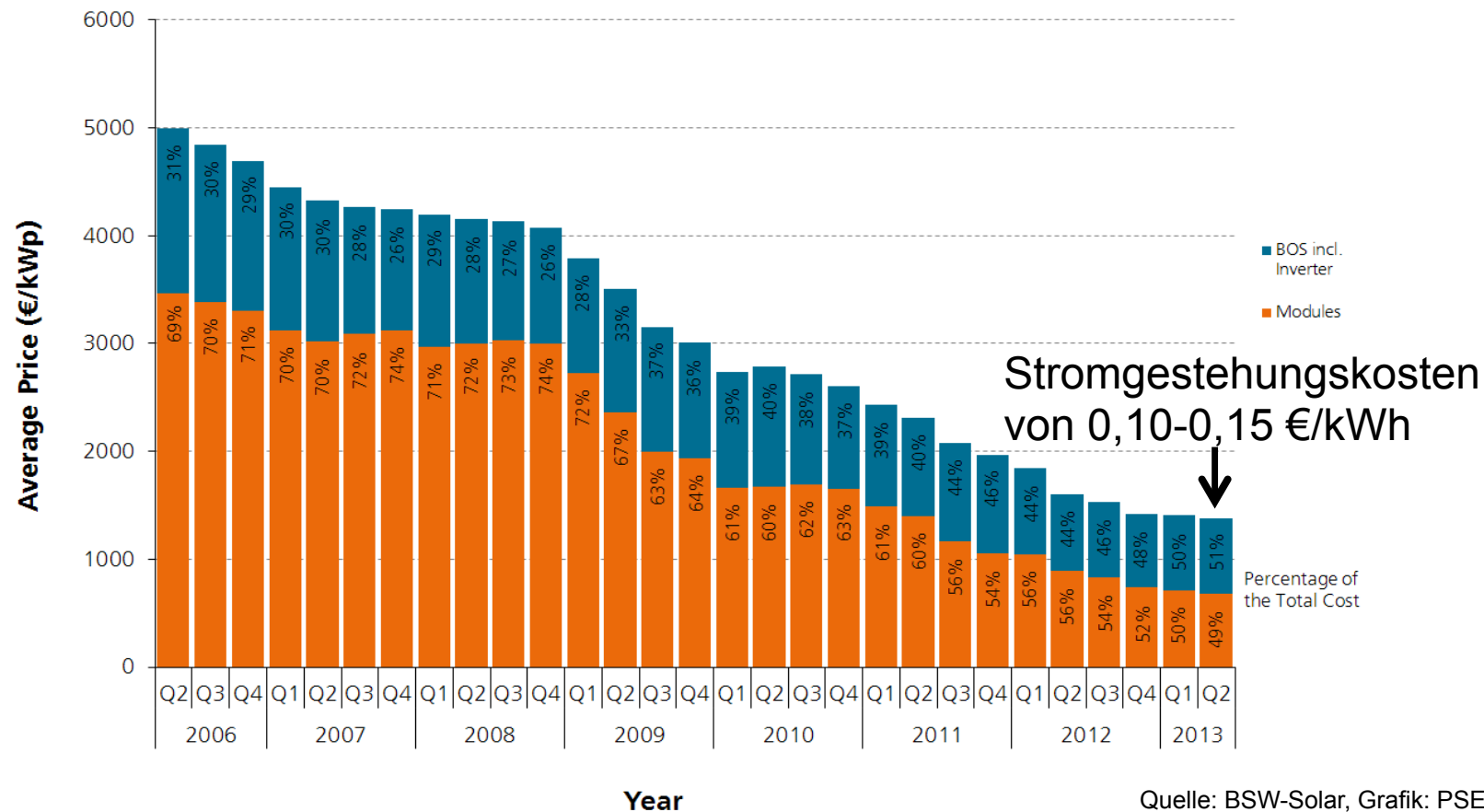
## Preis-Lernkurve der globalen c-Si PV



Preis-Lernkurve von PV-Modultechnologien seit 1980.

Quelle: Navigant Consulting; EUPD Modulpreise (seit 2006), Grafik: PSE AG 2012

# Durchschnittlicher Preis für Dachanlagen in Deutschland (10 kWp bis 100 kWp)

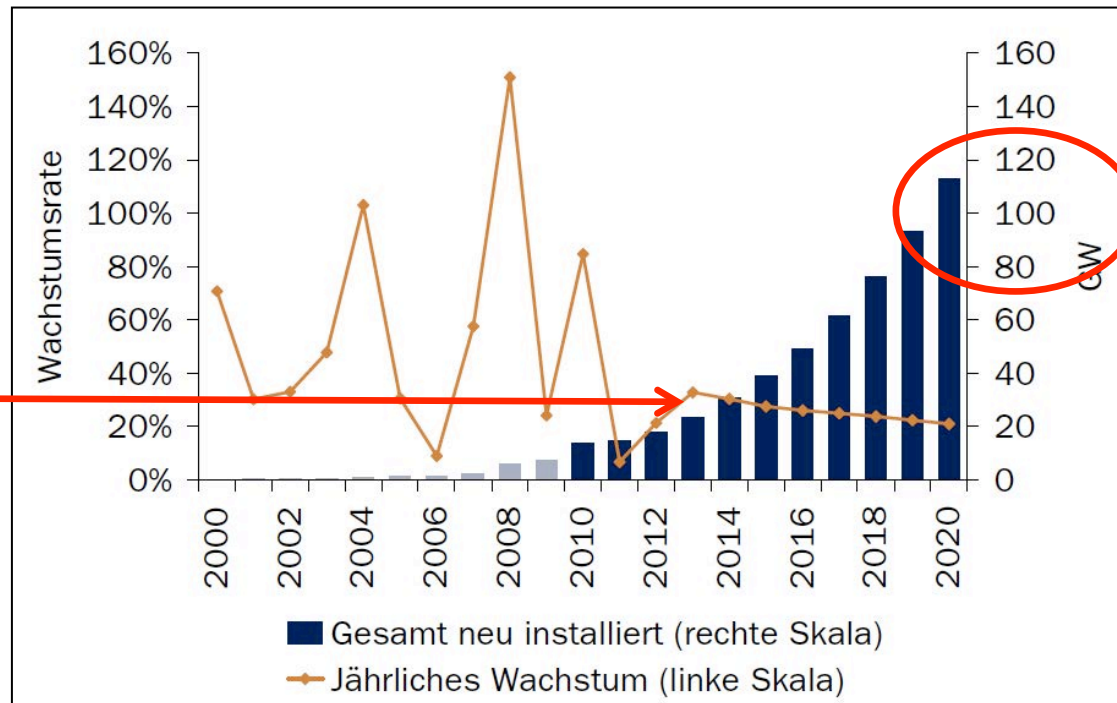


# Ausblick Photovoltaik (PV)-Weltmarkt

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

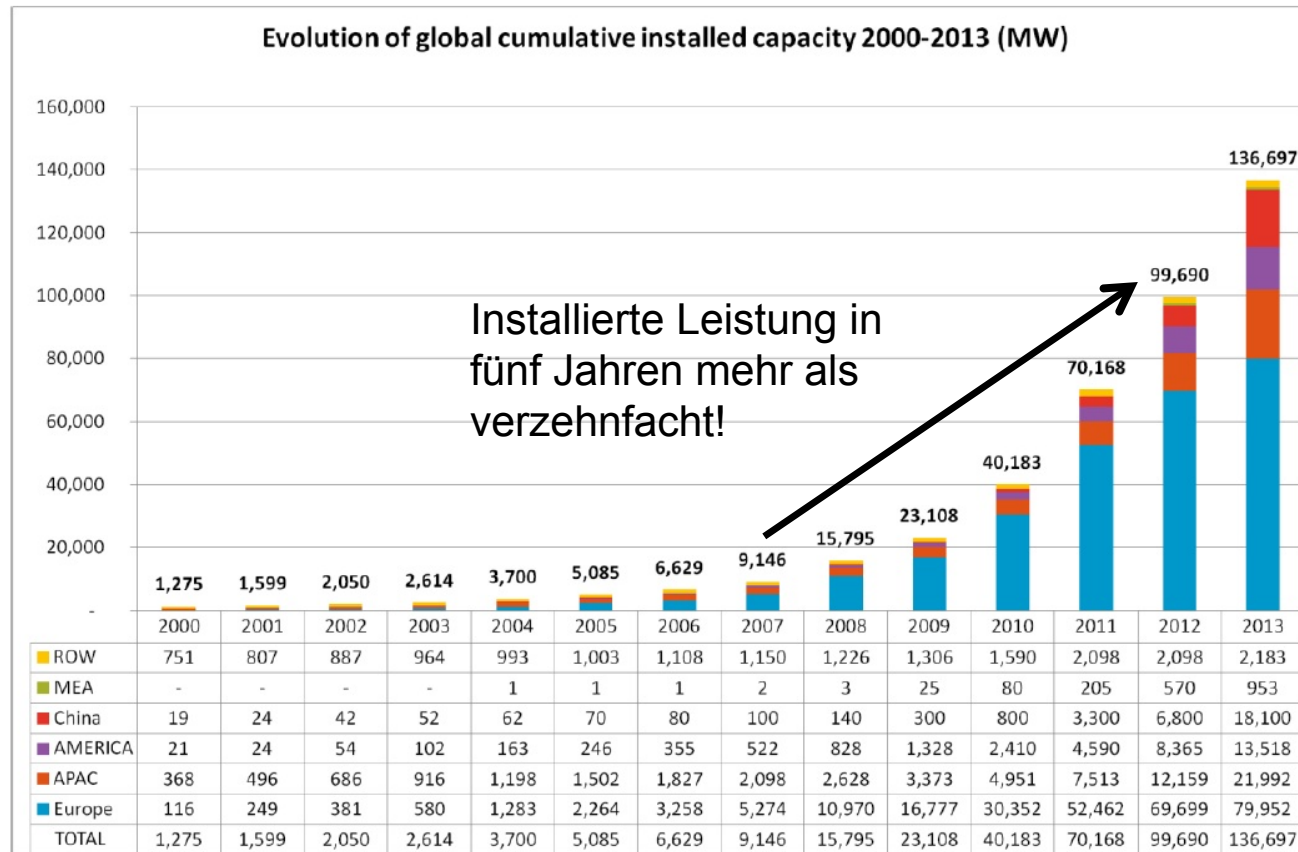
- Marktausblick 2010:  
30 GW/a für 2014,  
110 GW/a für 2020
- jährl. Wachstumsrate:  
im Bereich 20-30 %

Mit > 35 GW 2013,  
> 45 GW 2014 (e)  
bereits weit über  
Vorhersage!



Quelle: Sarasin, Solar Study, Nov. 2010

# Entwicklung der globalen PV-Installationen



Quelle: EPIA PV Report Mai 2014



# Let the Second Gold Rush Begin

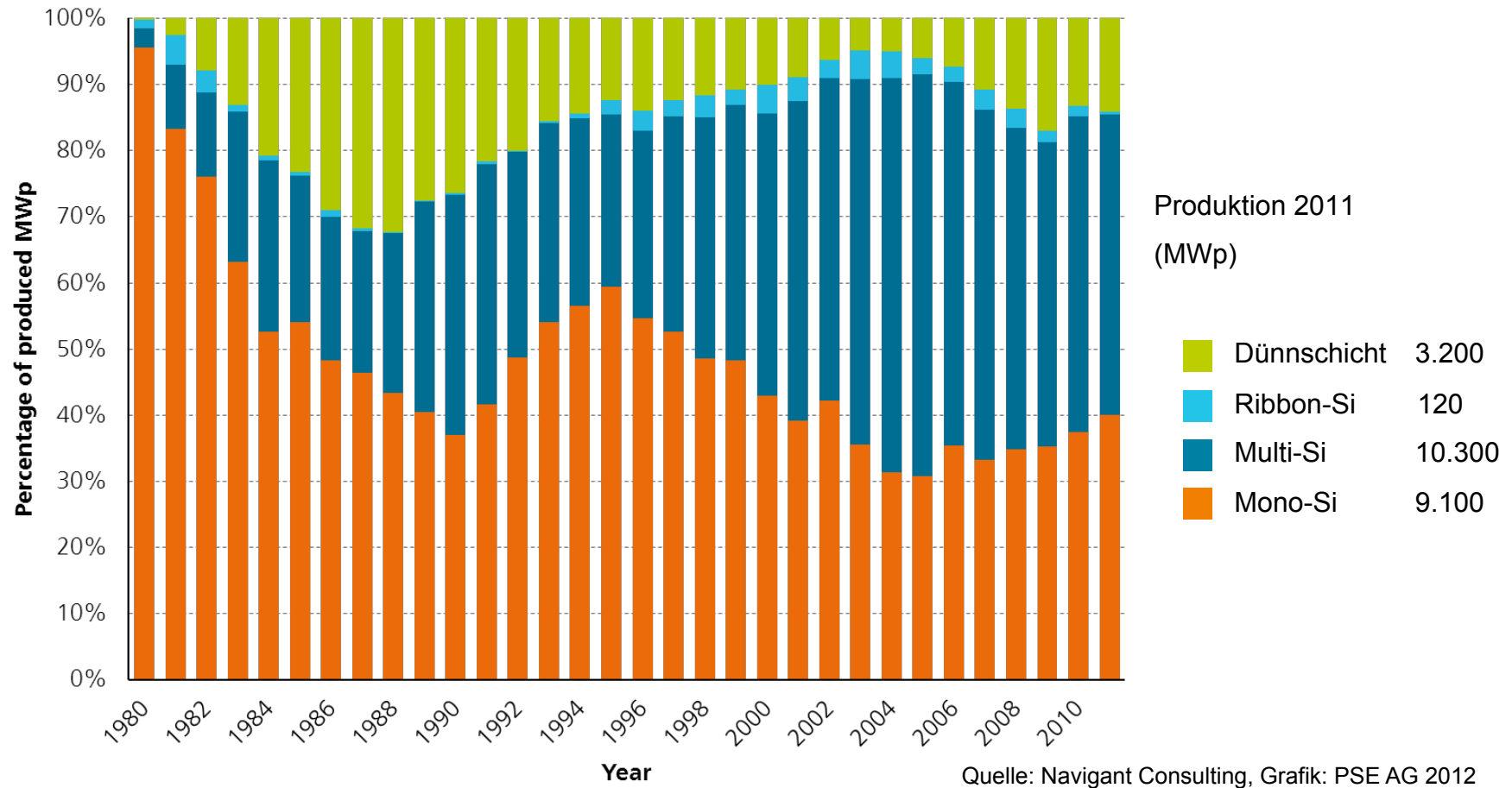
---

## Demand Could Continue to Surprise to the Upside

While we have been generally constructive on the global demand outlook, we are raising our 2014 and 2015 demand expectations from 44.5 to 46.1GW and from ~52 to ~56GW respectively. We believe upside demand surprises from the US, Japanese and Chinese markets could continue in 2014. We expect a combination of streamlined incentive programs in China, additional subsidy cut signals in end 2014 and decreasing financing constraints to act as catalysts for upside demand surprises. While these 3 markets showed the most upside relative to expectations in 2013, we expect many more international markets to become meaningful growth contributors from 2014. Specifically, we expect India, South Africa, Mexico, Australia, Middle East, South America and South East Asia to all act as strong growth contributors. The majority of these markets are at grid parity and as such sustainable. Moreover, we believe some of the grid and financing constraints that have inhibited growth so far are set to improve in 2014.



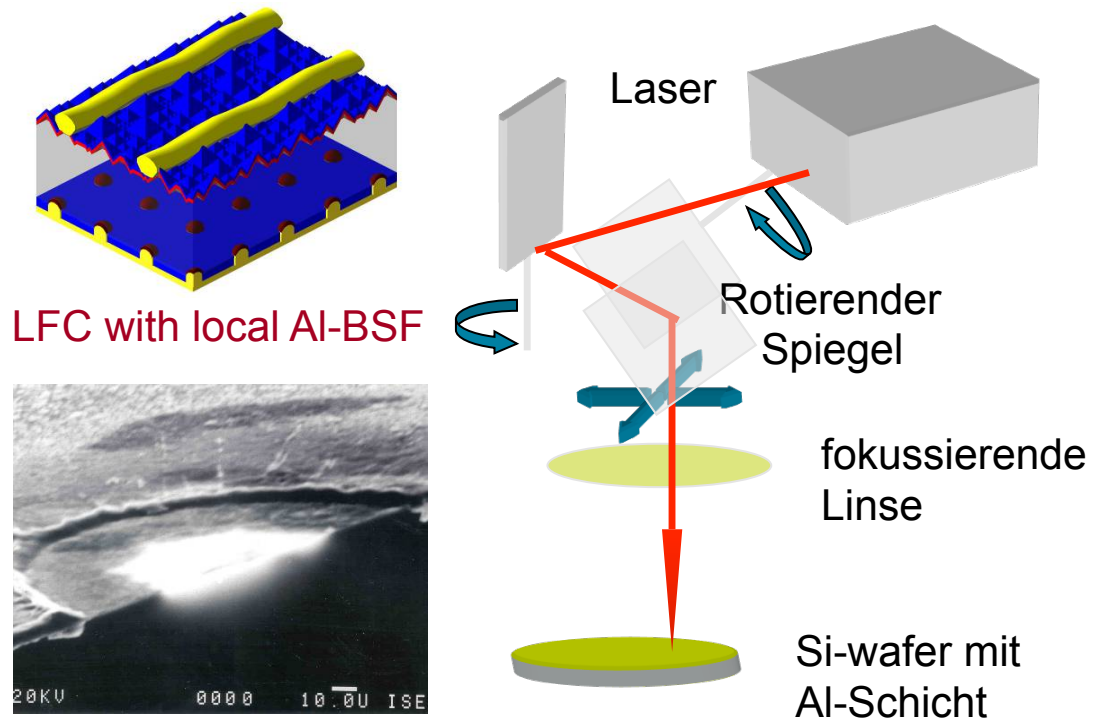
# PV Produktions-Technologien seit 1980



# Technologietreiber Photovoltaik

## Beispiel Laser gefeuerte Kontakte

- einfache Methode um lokale Al-basierte Kontakte herzustellen
- Rest der Rückseite wird gut passiviert
- »fliegender« Prozess mit kleinen Spiegeln: > 10 000 Kontakte/s
- kontaktloser Prozess in der Linie



Quelle: A. Grohe et al., in Proc. 21st EU-PVSEC (Dresden, 2006)

# Introduction

## Crystalline Silicon Technology Portfolio

### material quality

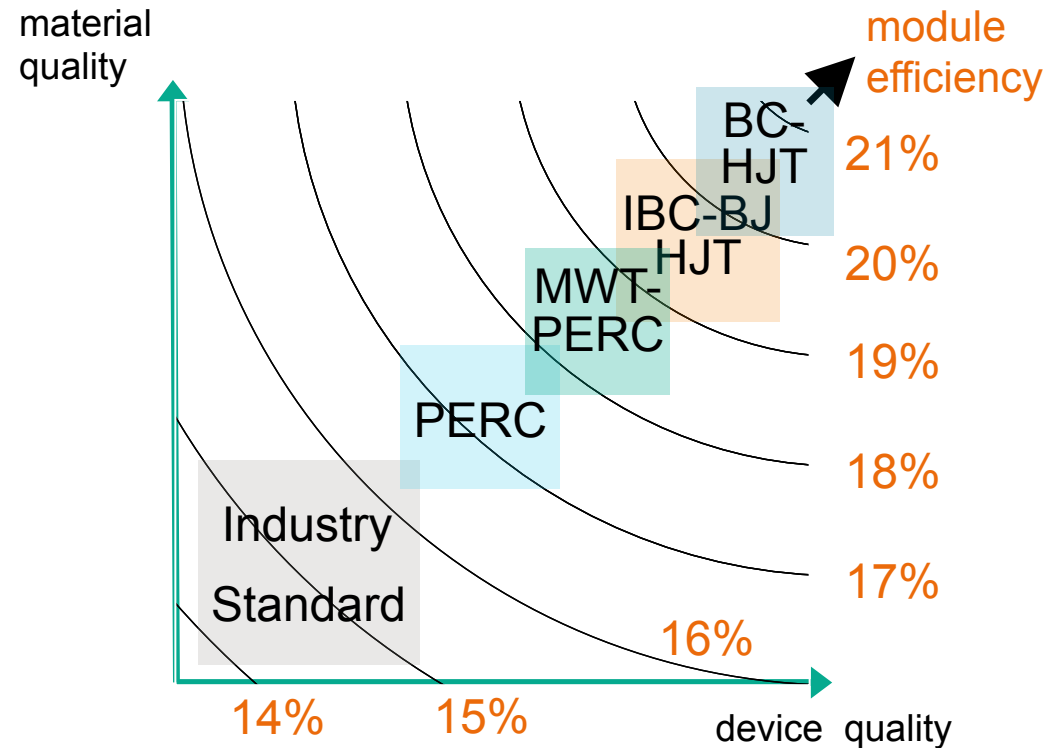
- diffusion length
- base conductivity

### device quality

- passivation of surfaces
- low series resistance
- light confinement

### cell structures

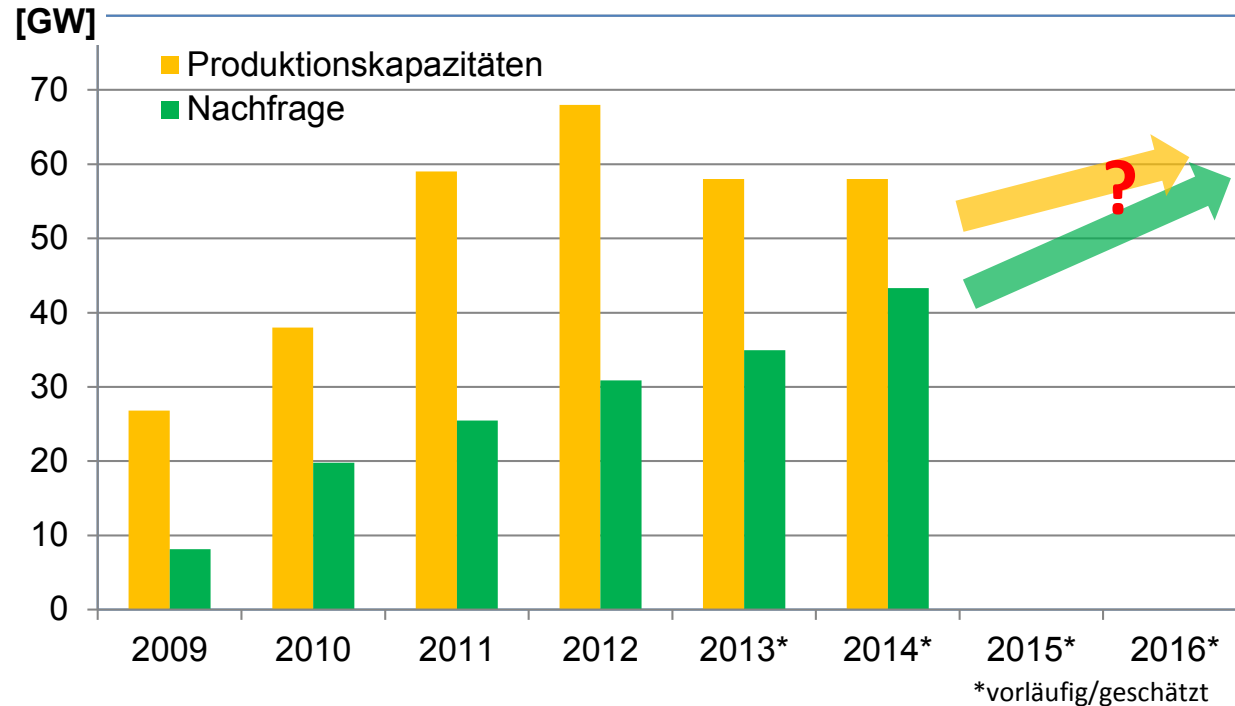
- PERC: Passivated Emitter and Rear Cell
- MWT: Metal Wrap Through
- IBC-BJ: Interdigitated Back Contact – Back Junction
- HJT: Hetero Junction Technology



Adapted from Preu et al., EU-PVSEC 2009

# 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

- 15 -

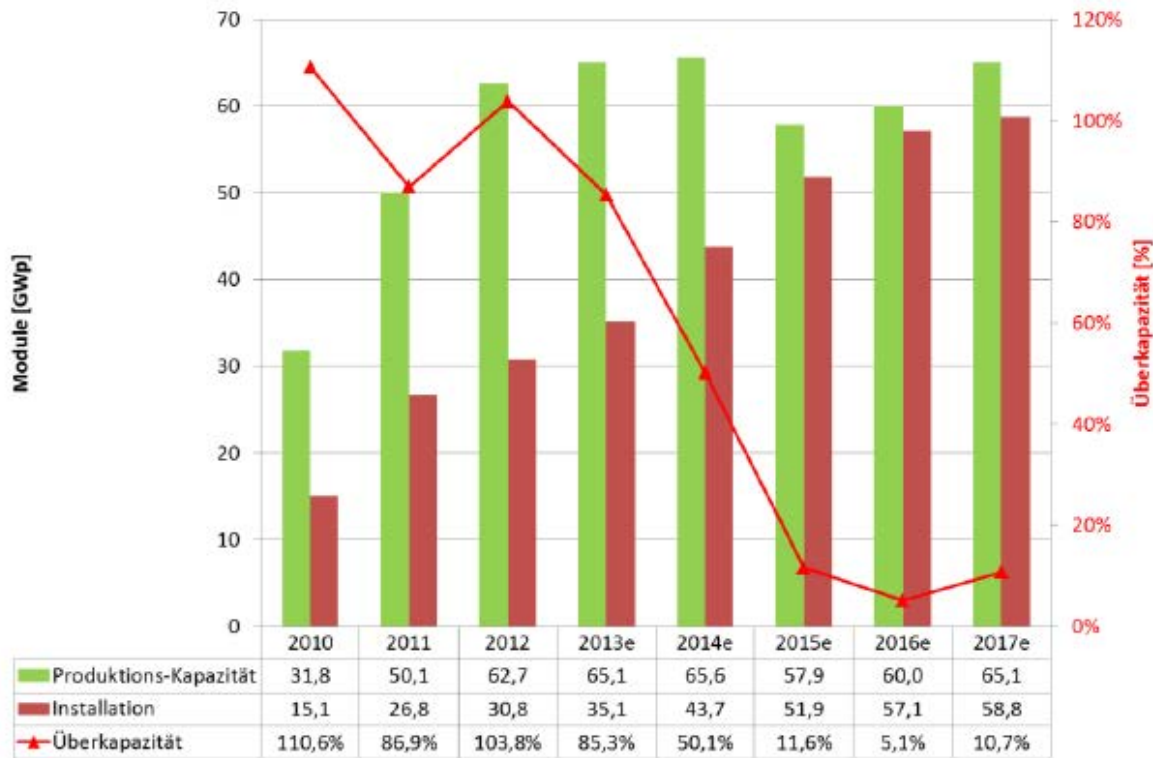
20

© Fraunhofer ISE



# Globaler PV-Markt

## Prognose bis 2017

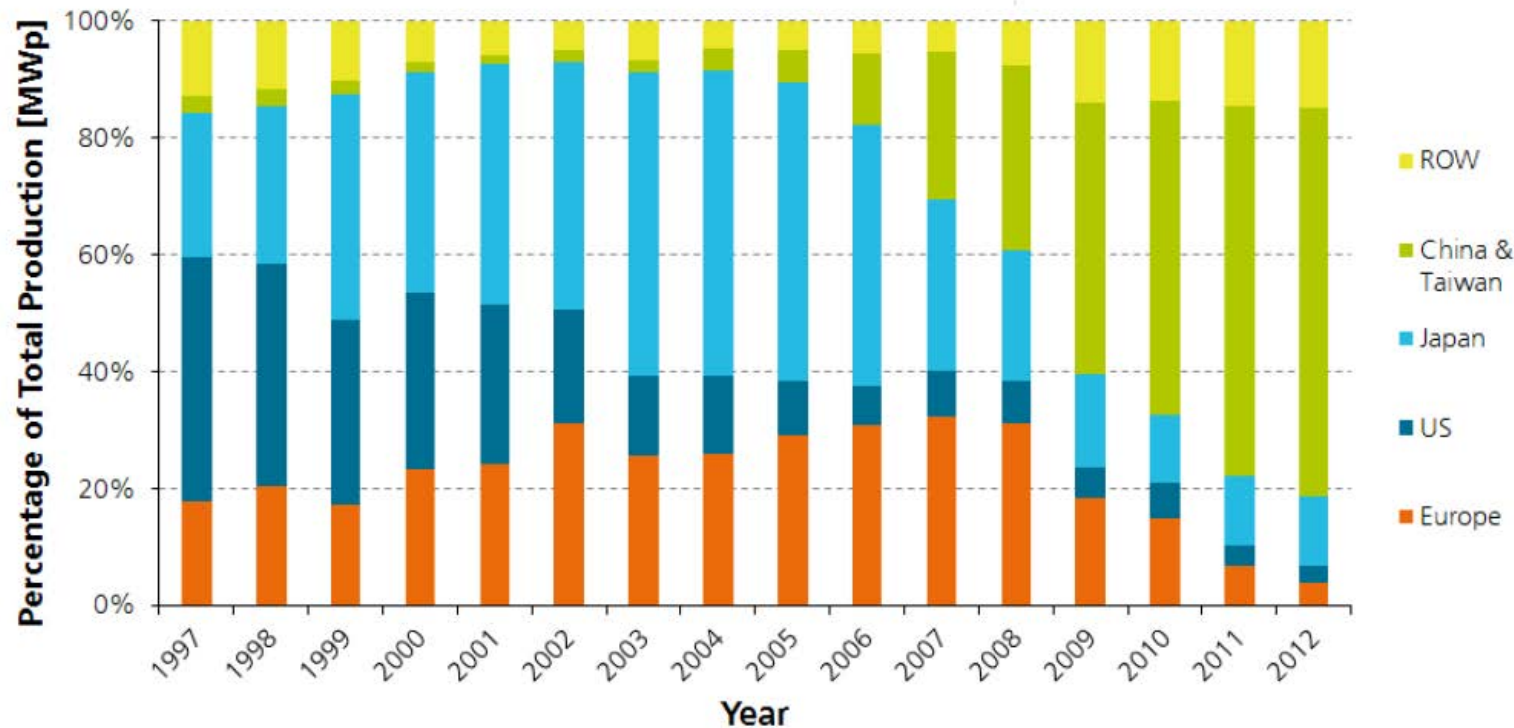


Prognose der Entwicklung von Angebot und Nachfrage im globalen PV-Markt.

Quelle: Lux Research Inc., Grafik: PSE AG

# PV-Produktionskapazität nach Regionen 1997-2012

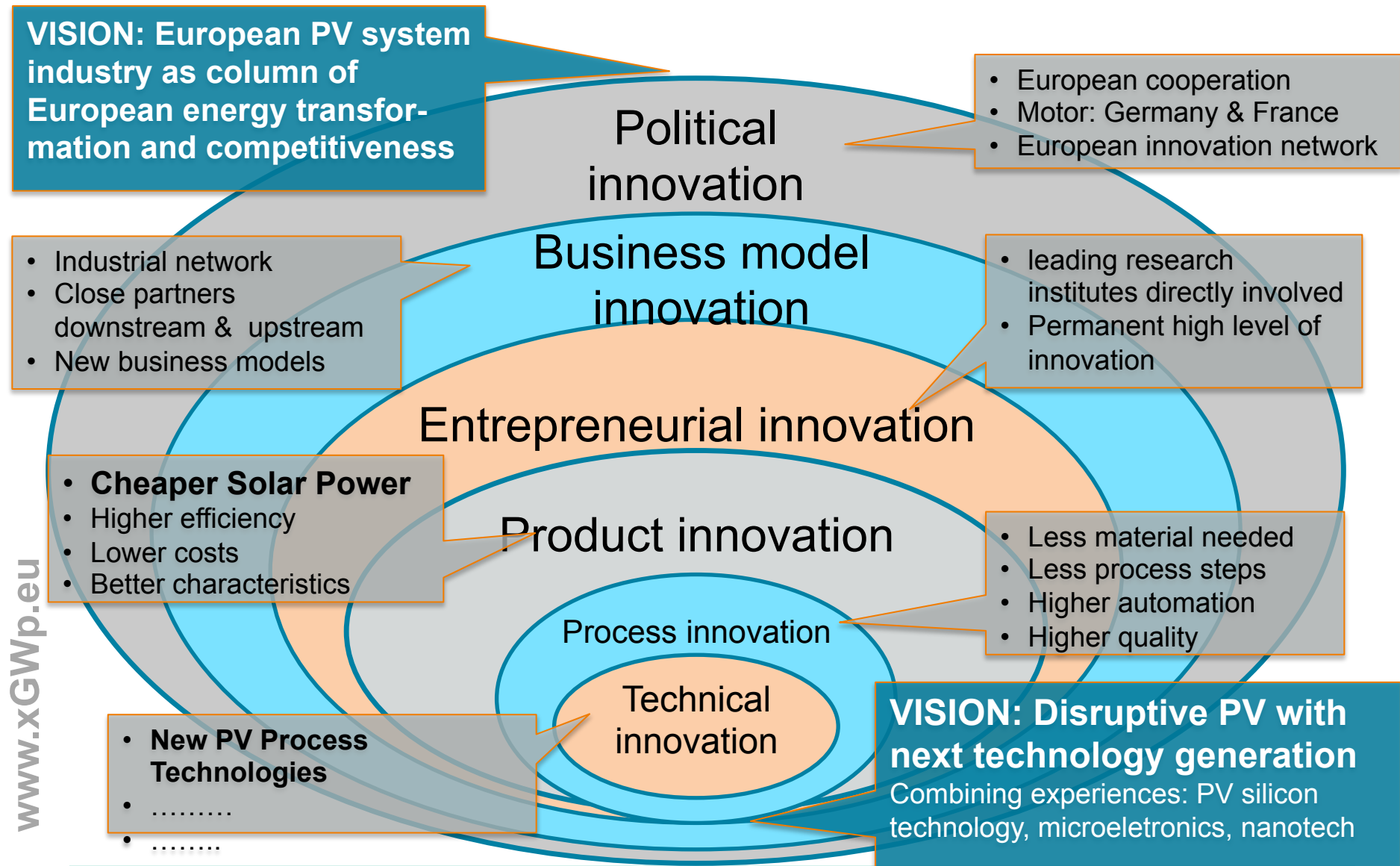
## Wird China den 100 GW/a Weltmarkt 2020 dominieren?



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

Quelle: Navigant Consulting, Grafik: PSE AG 2013

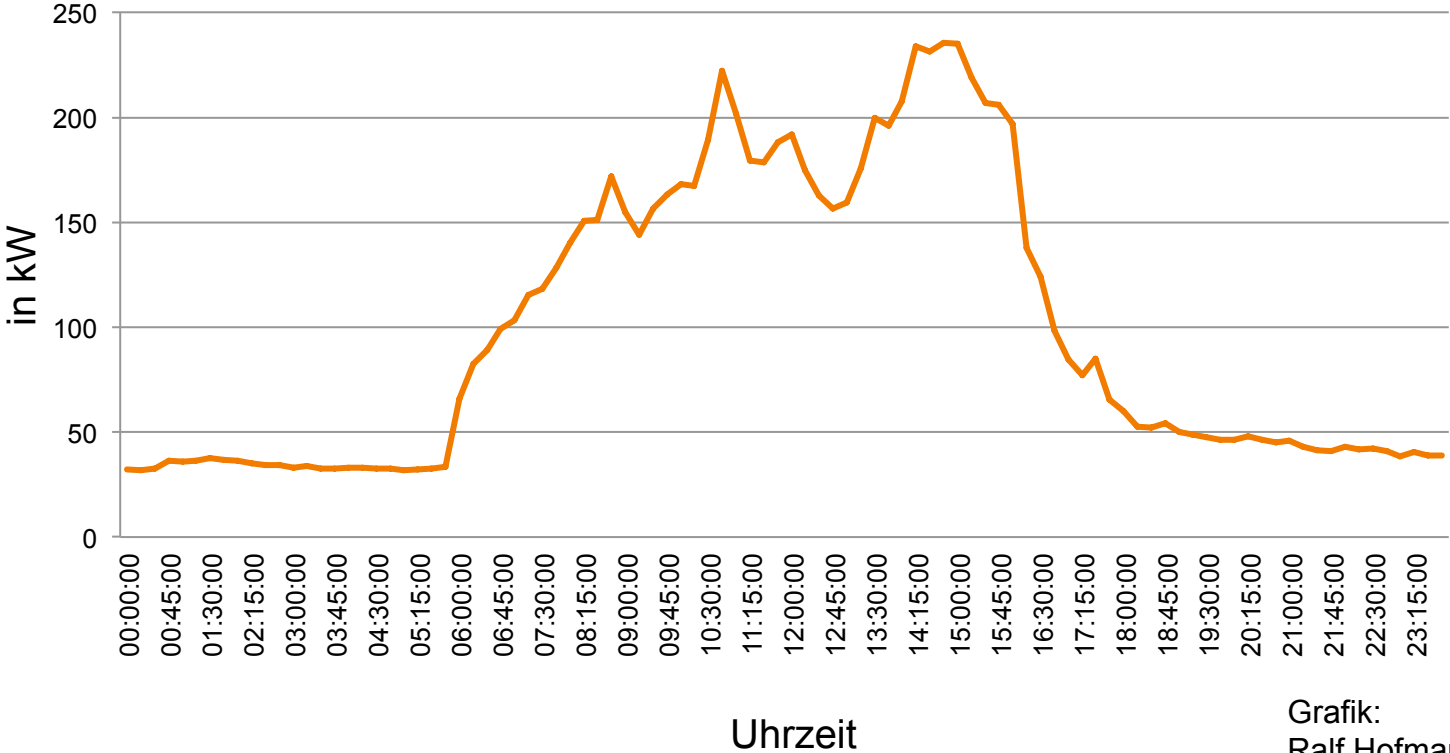
# Energy Resources – xGWp European Gigawatt Fab



# Täglicher Stromverbrauch – Juli 2013

## Fab 5

Dienstag, den 16.07.2013



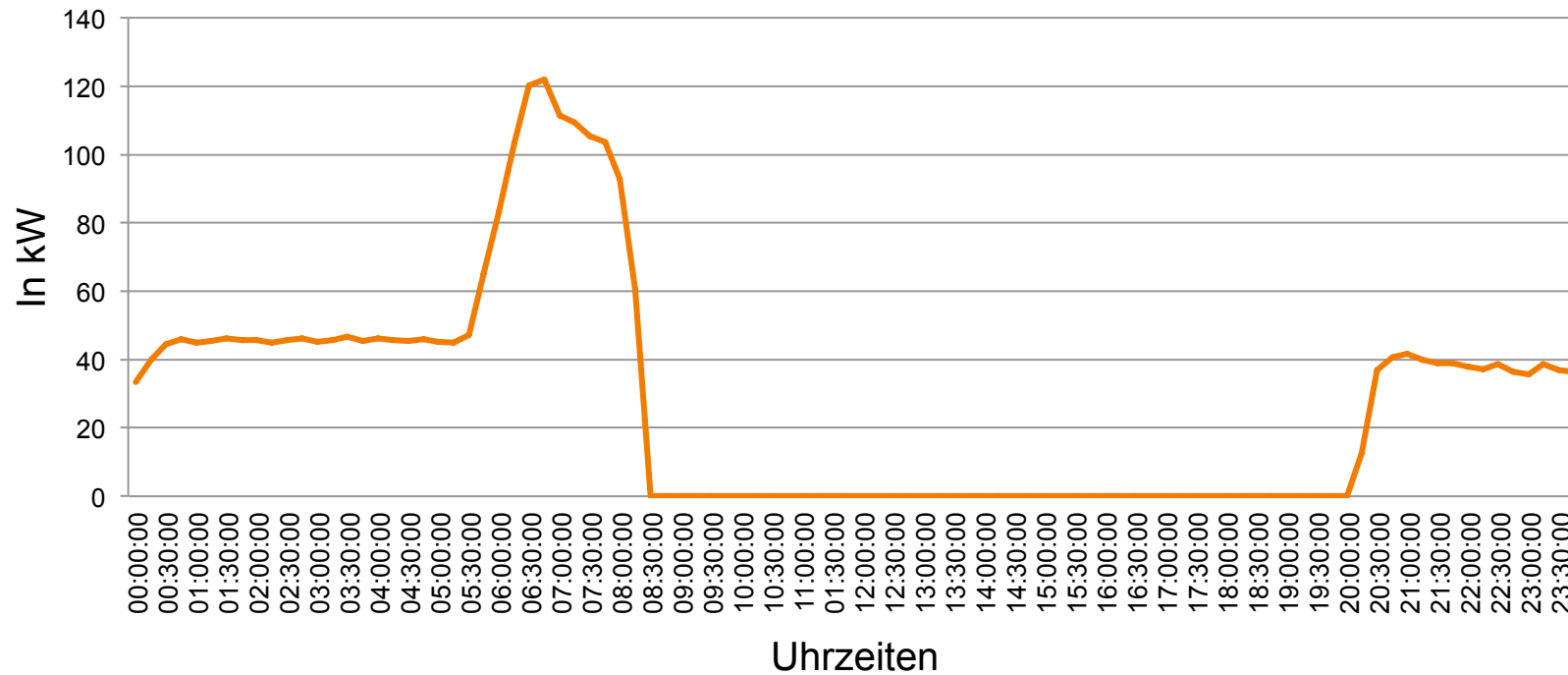
Grafik:  
Ralf Hofmann, CEO KACO



# Täglicher Stromverbrauch – August 2013

## Fab 5 mit 2 MW PV System

Dienstag, den 20.08.2013

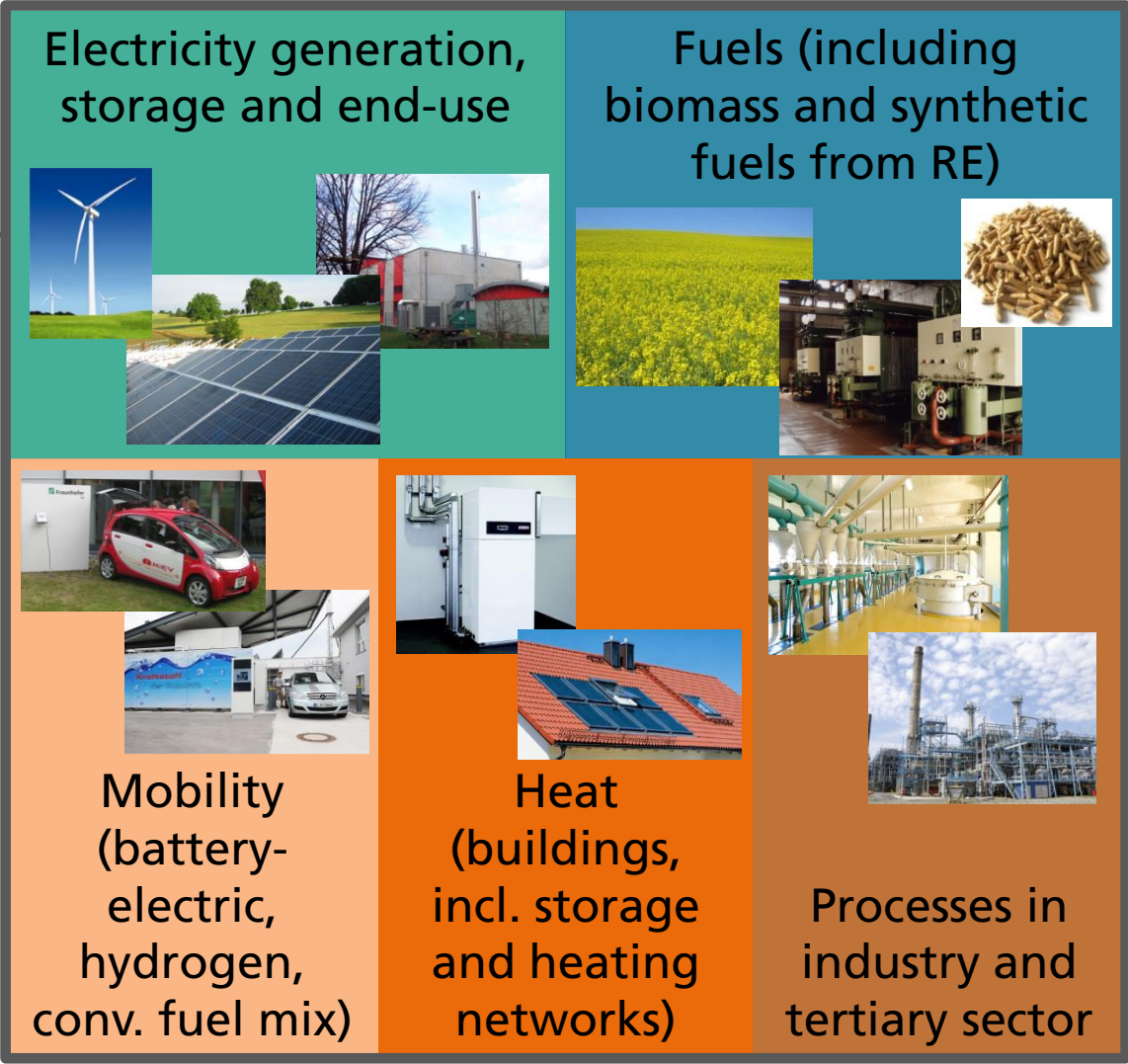


Kosten: € 2M, Einsparung Stromkosten: € 350 000/a!

Grafik:  
Ralf Hofmann, CEO KACO

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

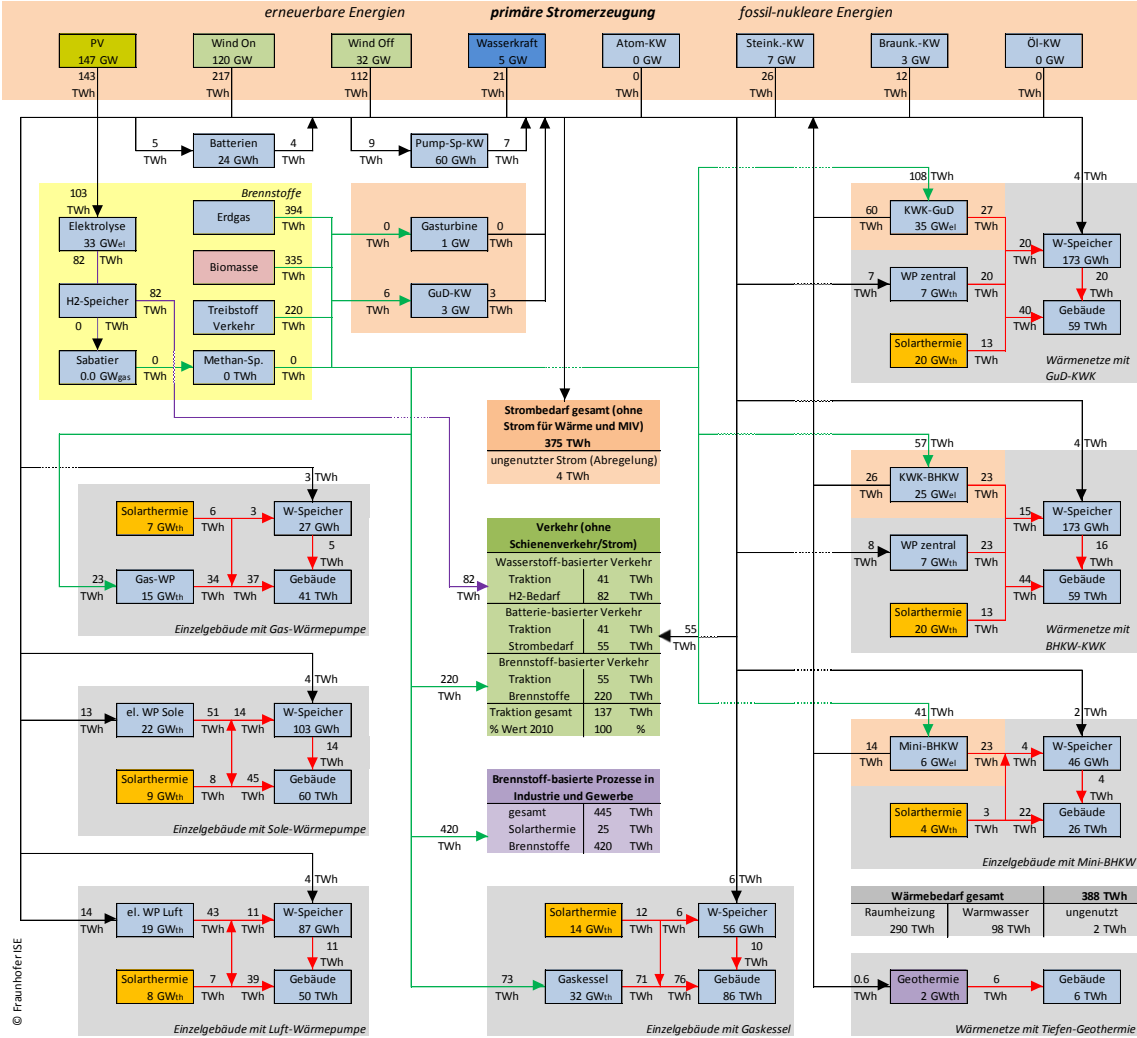
Comprehensive analysis of the overall system



**REMod-D**  
**Renewable Energy Model – Deutschland**

Slide courtesy Hans-Martin Henning 2014

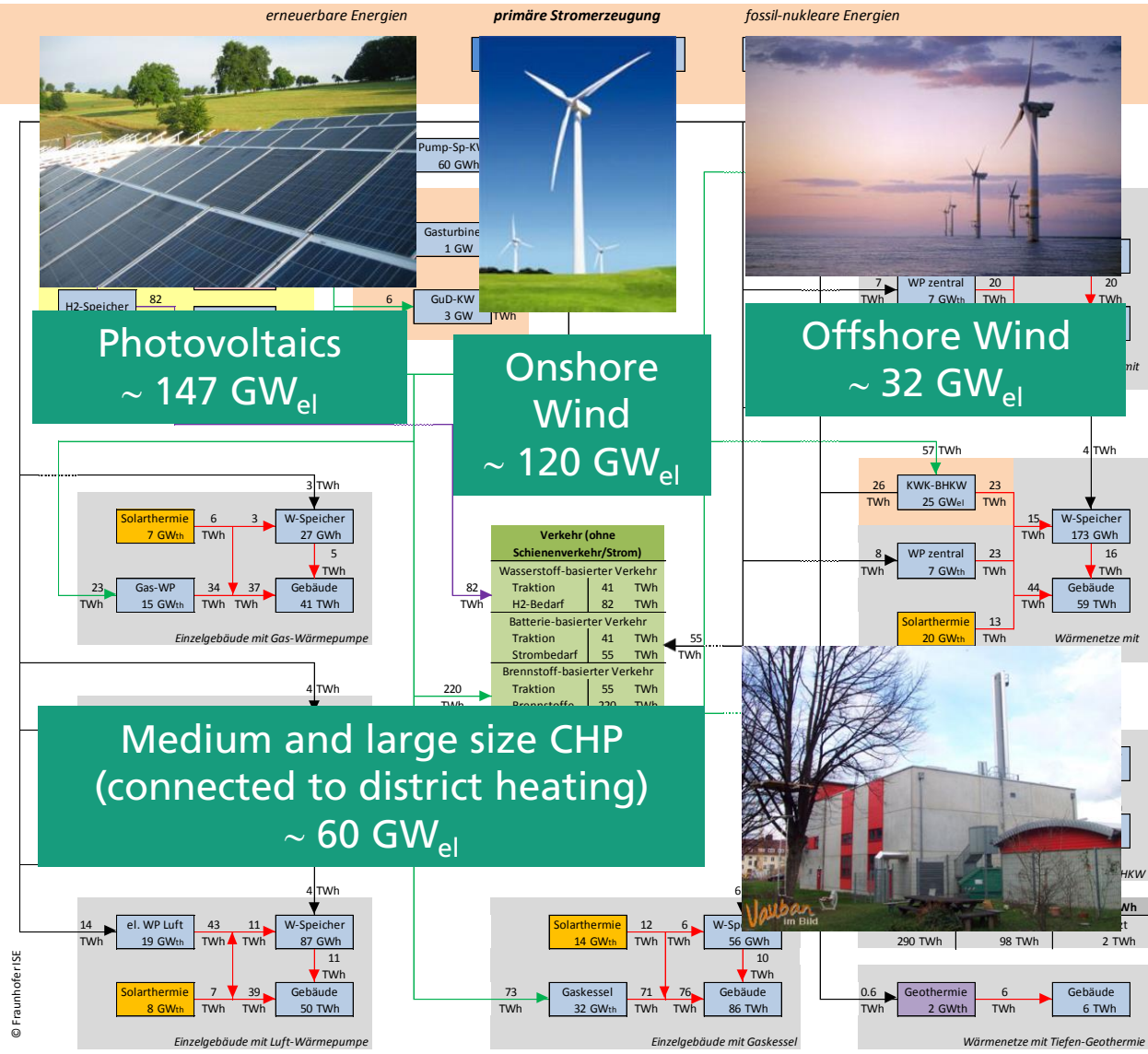
# Optimization of Germany's future energy system based on hourly modeling



**REMod-D**  
Renewable Energy Model – Deutschland

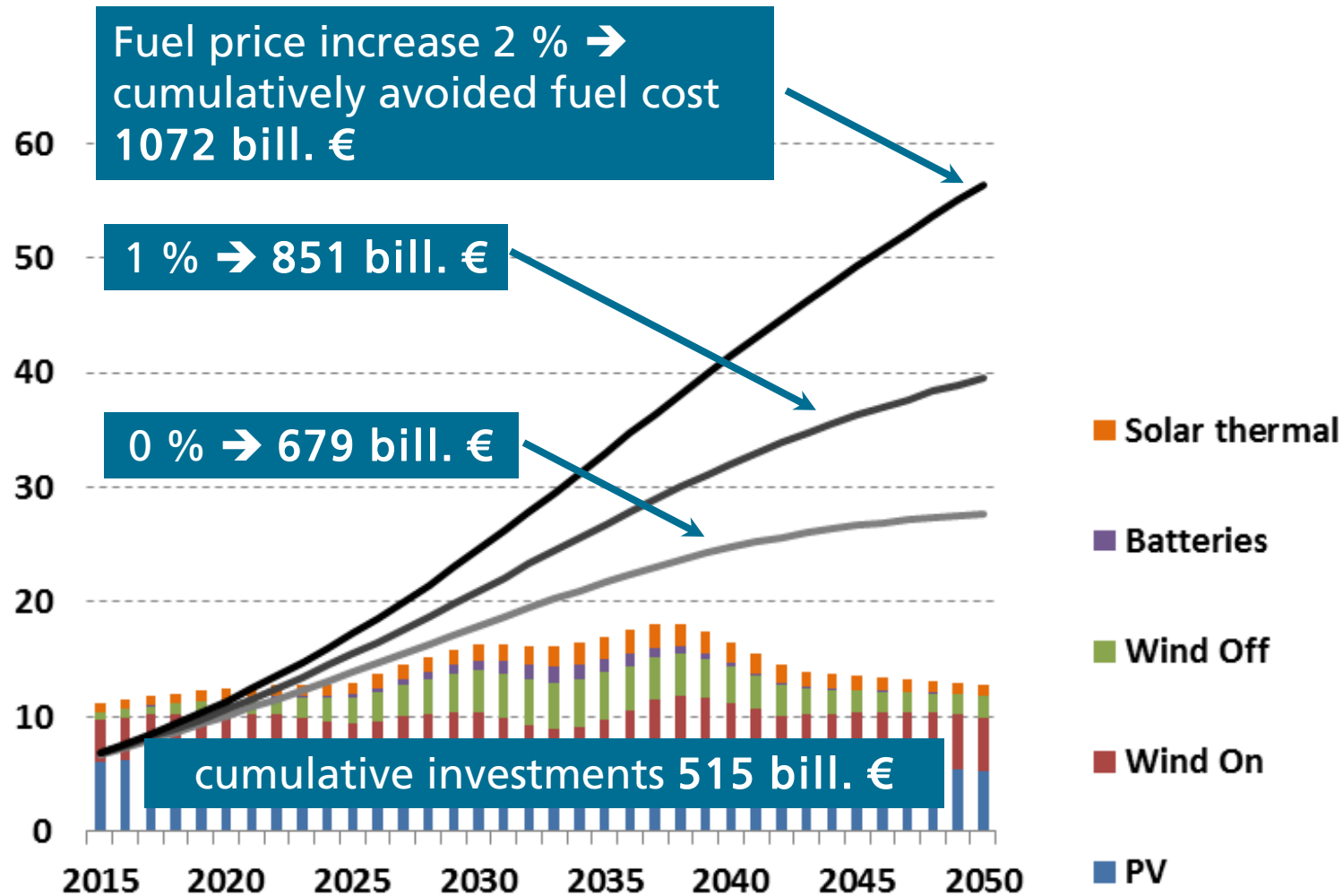
Slide courtesy Hans-Martin Henning 2014

# Electricity generation



Slide courtesy Hans-Martin Henning 2014

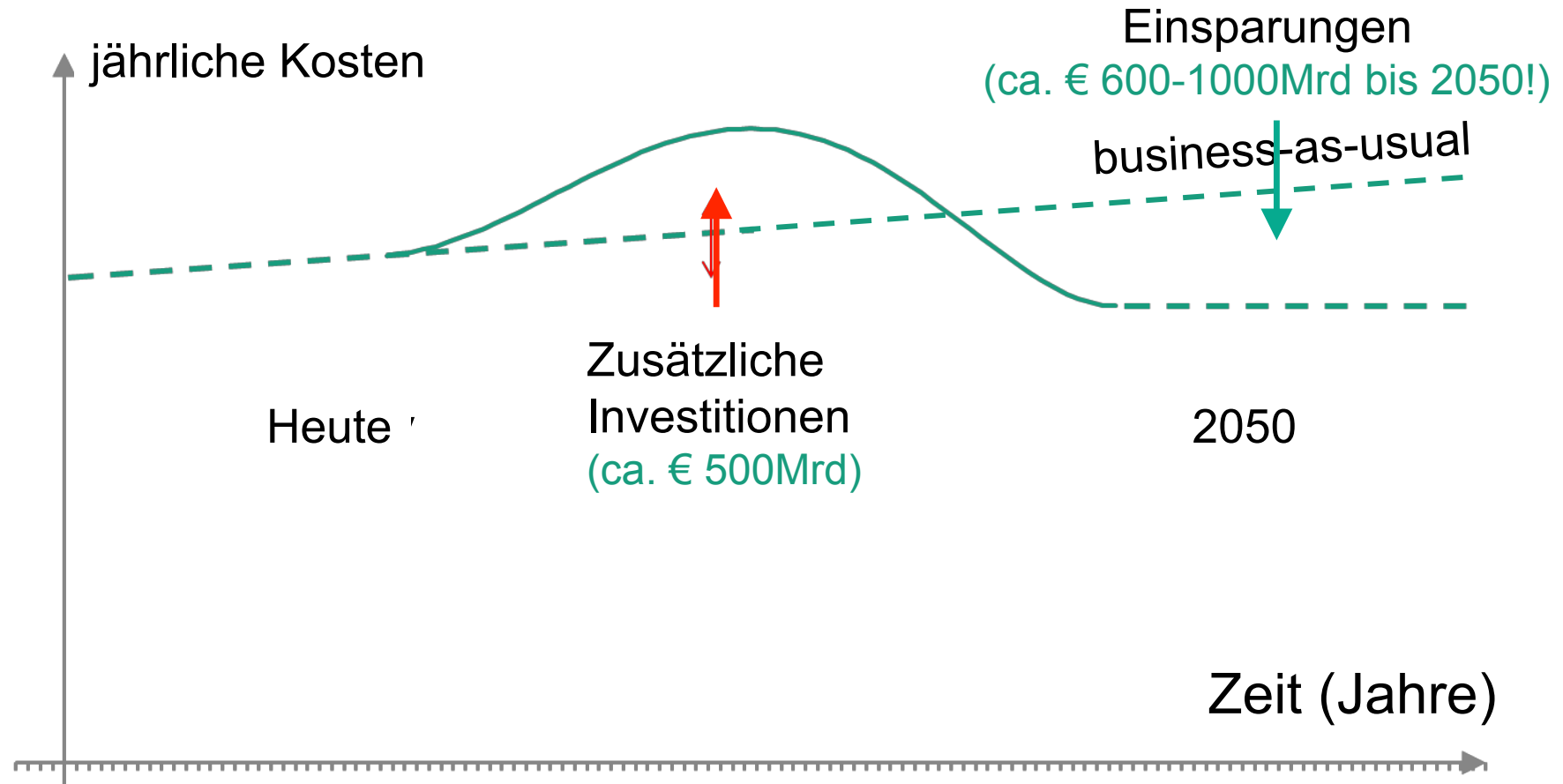
# Investments vs. saved fuel cost in bill. € p.a.



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<sub>p</sub>, zur Freude der Verbraucher bei uns und weltweit.
- Viele der heute bestehenden Produktionskapazitäten erlauben nicht, Module zu unter 0,50 €/W<sub>p</sub> 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<sub>p</sub>, **zur Freude der Verbraucher bei uns** und weltweit.
- Viele der heute bestehenden Produktionskapazitäten erlauben nicht, Module zu unter 0,50 €/W<sub>p</sub> 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.

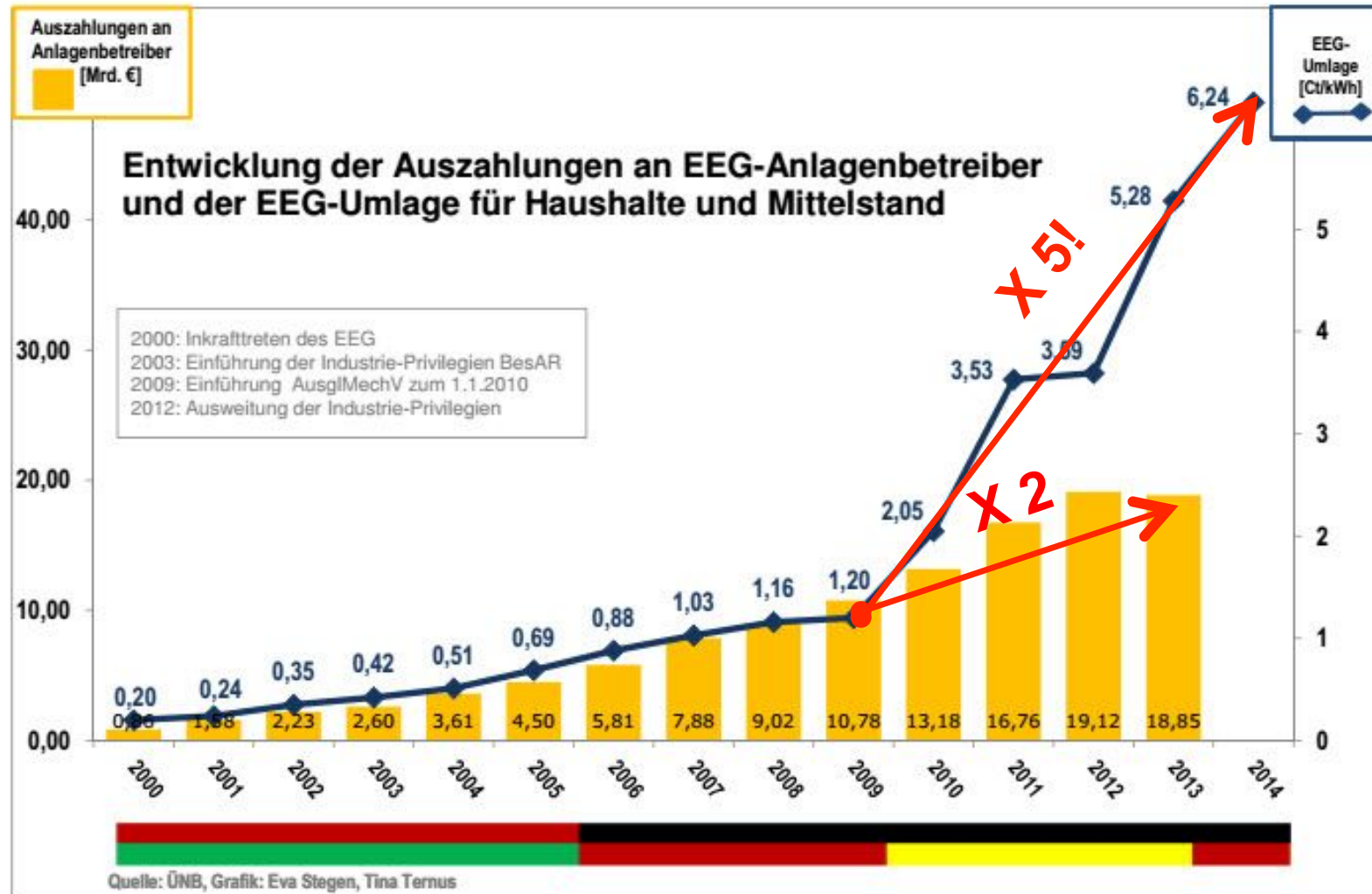


# Die wahre Story der PV – Die EEG-Umlage

- 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

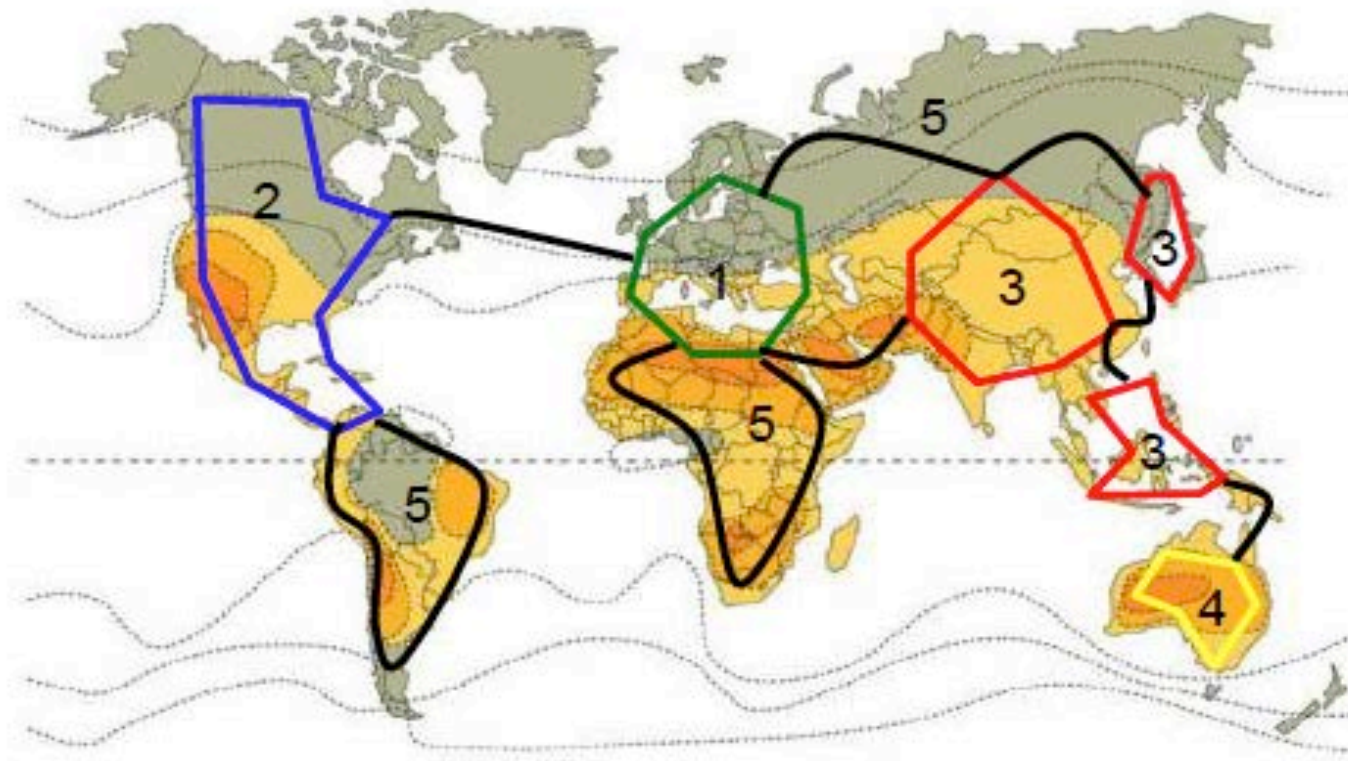
- Die EEG-Umlage wurde geschaffen, um die Zusatzkosten durch den Einspeisetarif für die erneuerbaren Energien auf alle Stromabnehmer zu verteilen.
- Von Anfang an waren die stromintensiven Unternehmen im internationalen Wettbewerb ausgenommen.
- **Im Jahr 2009 wurde eine wesentliche Umgestaltung des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

## Wer wird vom »2. Gold-Rausch« profitieren?

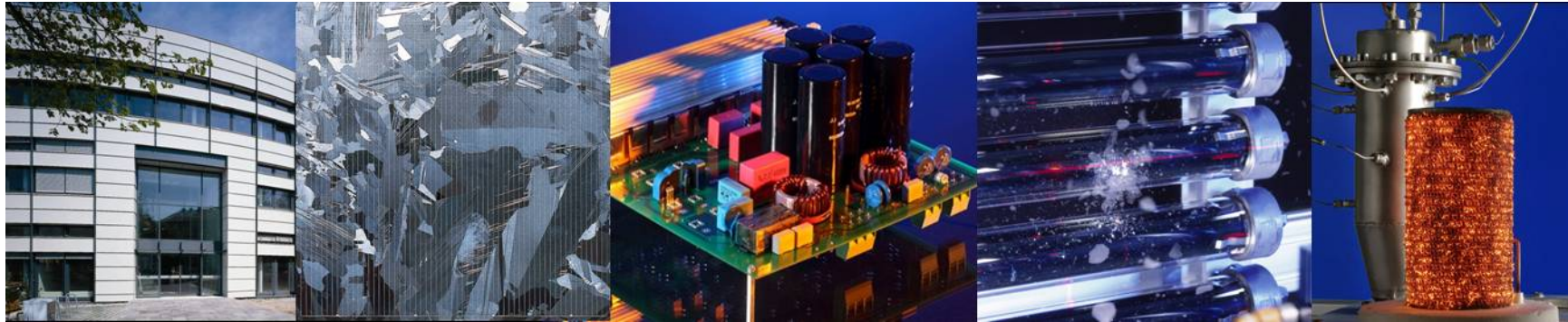
- Globale Überkapazität führte zu rapide gesunkenen Modul-Preisen, die den weltweiten Markt weiter beschleunigen; der 2. Gold-Rausch steht vor der Tür, der 30-40 GW<sub>p</sub>/a Markt wird auf 100-300GW<sub>p</sub>/a wachsen.
- In naher Zukunft sind keine weiteren Preissenkungen zu erwarten, eher stabile oder sich leicht erholende Preise.
- 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
- Mit dem Verbundprojekt xGWp versuchen wir diese Position zu stärken.
- **Wenn wir die forschungs- und industriepolitischen Weichen richtig stellen, haben wir eine Chance, unsere ausgezeichnete Stellung im internationalen Wettbewerb zur globalen Energiewende zu erhalten!**

# Das globale Supergrid der Zukunft



Source: Solar Millennium AG, Schott Solar

# 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](http://www.ise.fraunhofer.de)  
[eicke.weber@ise.fraunhofer.de](mailto:eicke.weber@ise.fraunhofer.de)



**Zayed Future Energy Prize  
World Future Energy Summit – Abu Dhabi, January 20, 2014**