

# Wie sieht die Zukunft der Stromerzeugung aus: zentral oder dezentral? – Ein Blick in die Zukunft und über die Grenzen Deutschlands

Bernhard Hoffschmidt, Direktor, DLR-SF

Robert Pitz-Paal, Direktor DLR-SF

Jürgen Kern, System Analyst, DLR-TT



Knowledge for Tomorrow



# DLR

## Forschungsbereiche

**Raumfahrt**

**Luftfahrt**

**Verkehr**

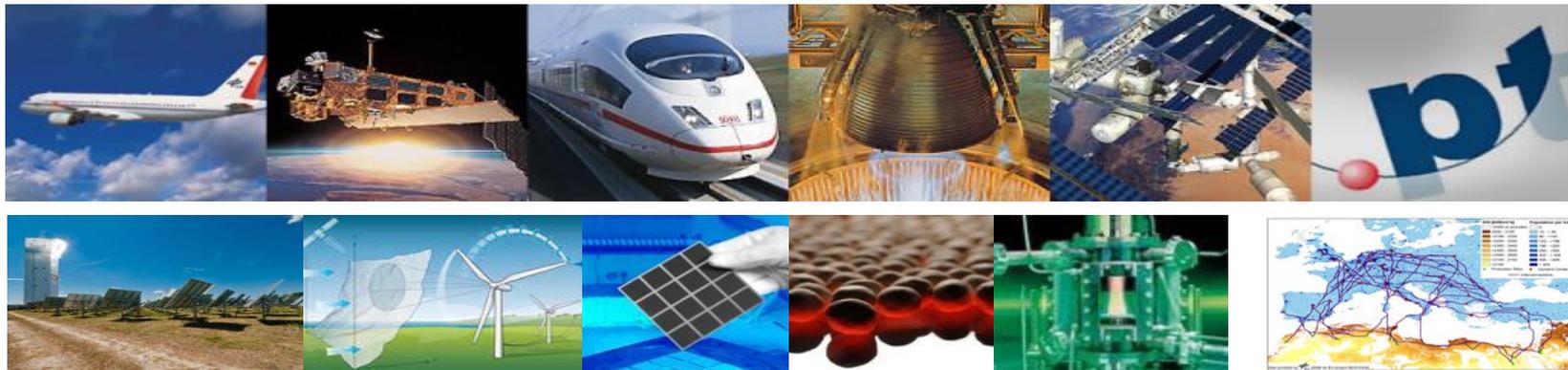
**Energie**

**Sicherheit**

**Projekträger**

## Energie

- Solarforschung
- Windenergie
- Thermische & Chemische Speicher
- Brennstoffzellen
- Verbrennung & Gasturbinen
- Systemanalyse



# Inhalt

- Aktuelle Fakten
- Verdichtung der Weltbevölkerung
- Wachstum der MegaCities
- Dezentrale regenerative Versorgung der MegaCities
- Regenerative Ressource versus Lage der MegaCities
- Zentrale Versorgung (Regenerative Hotspots) der MegaCities am Beispiel Peking
- Erreichung 100% Versorgungssicherheit durch „Regenerative Hotspots“



## Fakten

2015: COP 21 Beschluss => Einhaltung des 2°C Ziel durch Dekarbonisierung aller EE

2015: >50% der Neuanlagen weltweit in EE in REE (286 Mrd. \$) (UN)

2015: erstmals Investition in REE in Entwicklungsländern > als OECD Ländern (UN)

2015: weiterhin Investition der Entwicklungsländer in Kohlekraftwerke (UN)

2016: PV Anlagen im MW Größe Preis unter 3c\$ pro kWh (Abu Dhabi)

2016: Angebot CSP Anlage von Solar Reserve in Chile für 6,4c\$ pro kWh

2016: Aktuelle Kosten Nuklear-Energie bei 11c\$ pro kWh

2016 : Andauernde De-Investition im konv. KW-Bereich (Innogy/RWE, EON/Uniper)

(Energieerzeugung: EE; Regenerative Energien: REE)



## Fakten

- 1800, lebten nur 3% der Weltbevölkerung in Städten
- Zum Ende des 20'zigsten Jahrhunderts lebten bereits 47% der Weltbevölkerung in Städten
- 1950, gab es 83 Städte mit mehr als 1 Millionen Einwohner
- 2007, waren es bereits 468
- Der Trend hält an und die Weltbevölkerung verdoppelt sich alle 38 Jahre
- Die UN sagt voraus, dass 2030 60% der Weltbevölkerung (5 Mrd. Menschen) in Städten leben wird



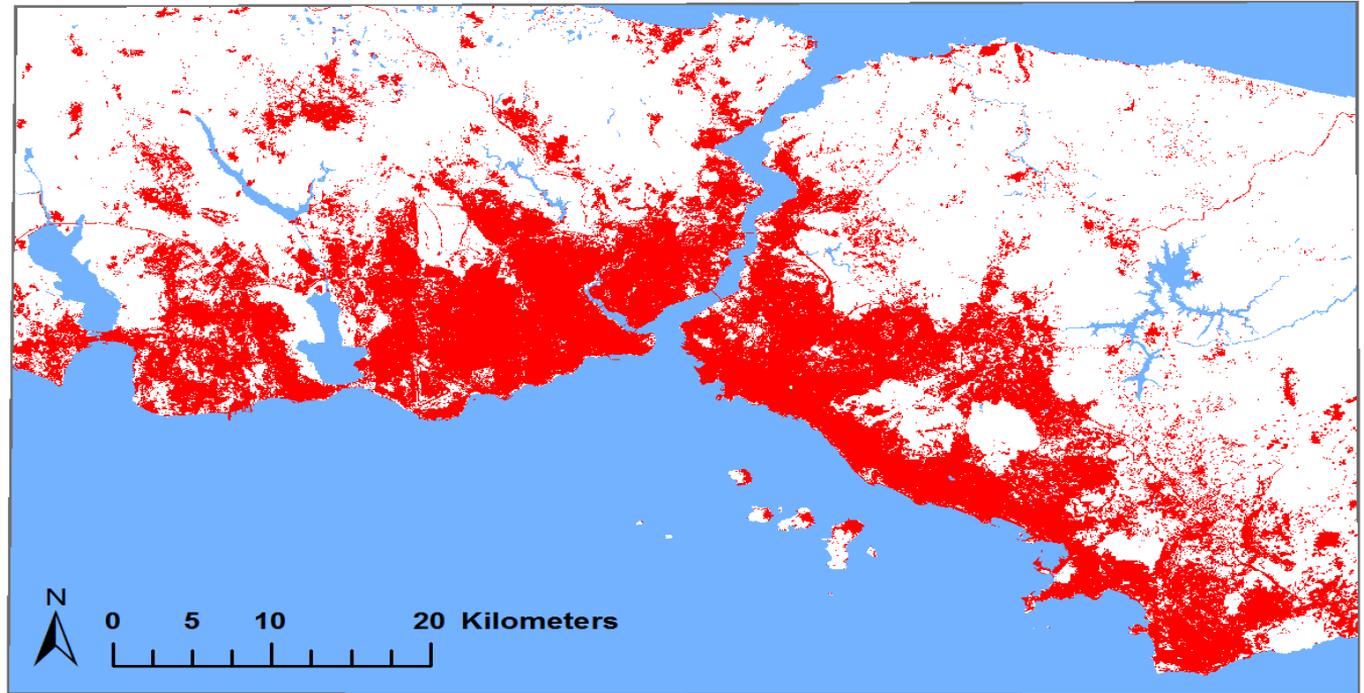
# Urbanes Wachstum

Istanbul 1975

Istanbul 1990

Istanbul 2000

Istanbul 2010



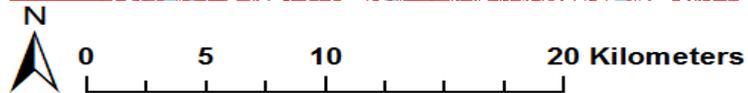
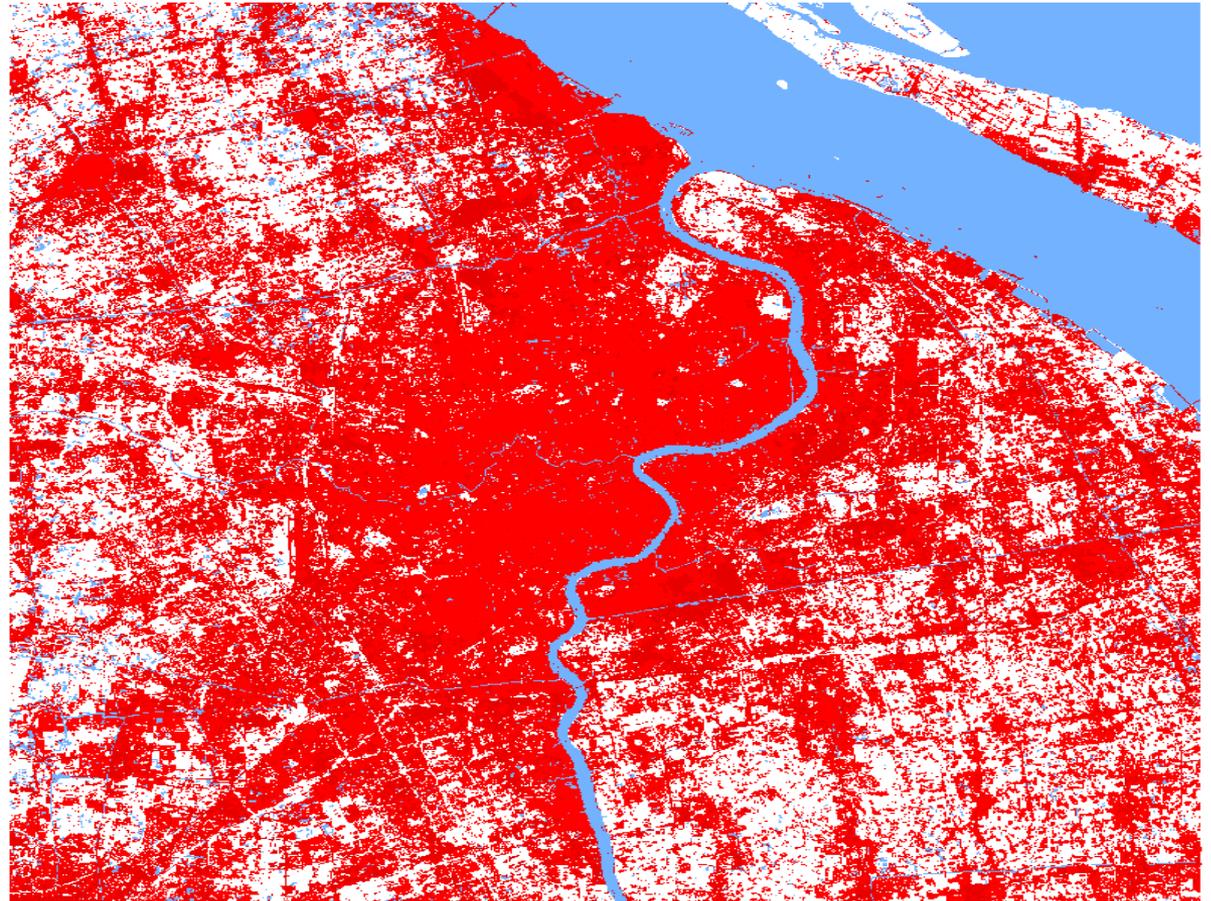
# Urbanes Wachstum

Shanghai 1975

Shanghai 1990

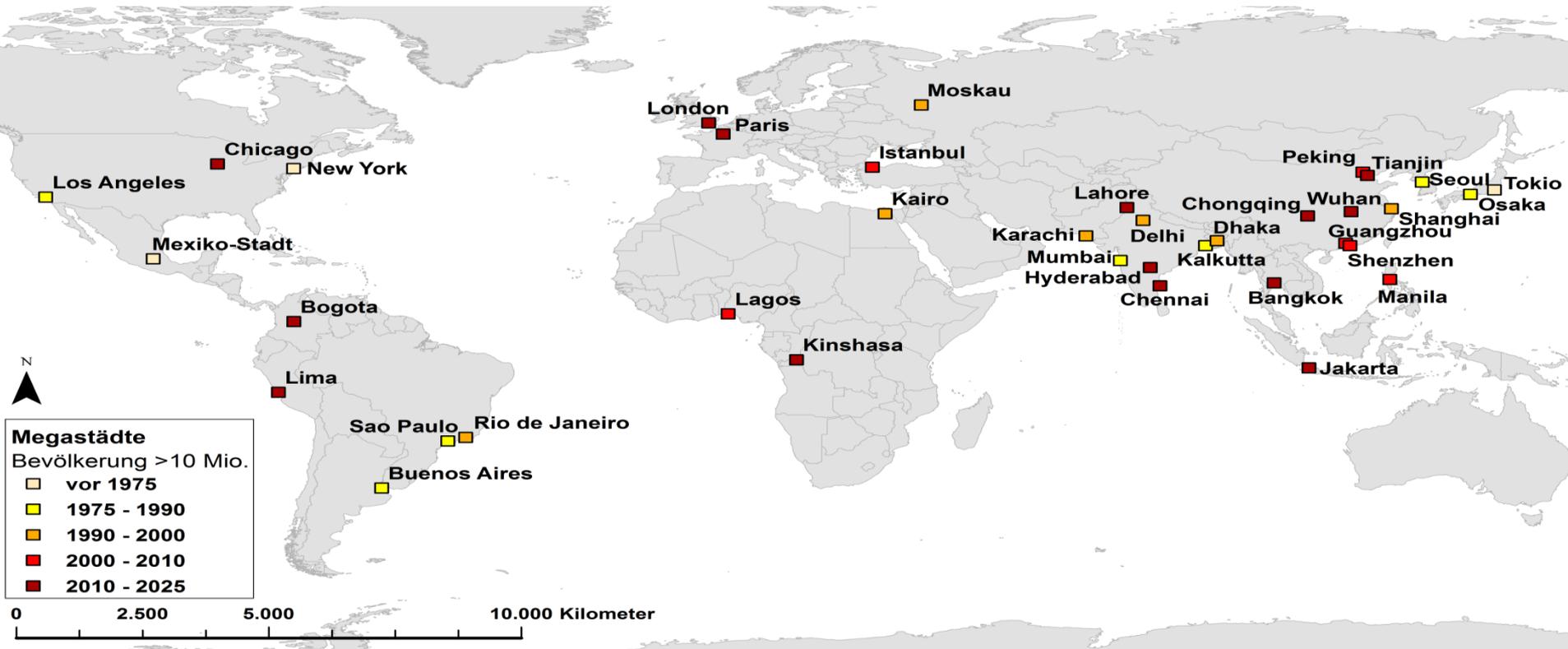
Shanghai 2000

Shanghai 2010



Taubenböck H, Esch T, Felbier A, Wiesner M, Roth A, Dech S  
(2012): *Monitoring of mega cities from space*. Remote  
Sensing of Environment, vol. 117, pp. 162-176.

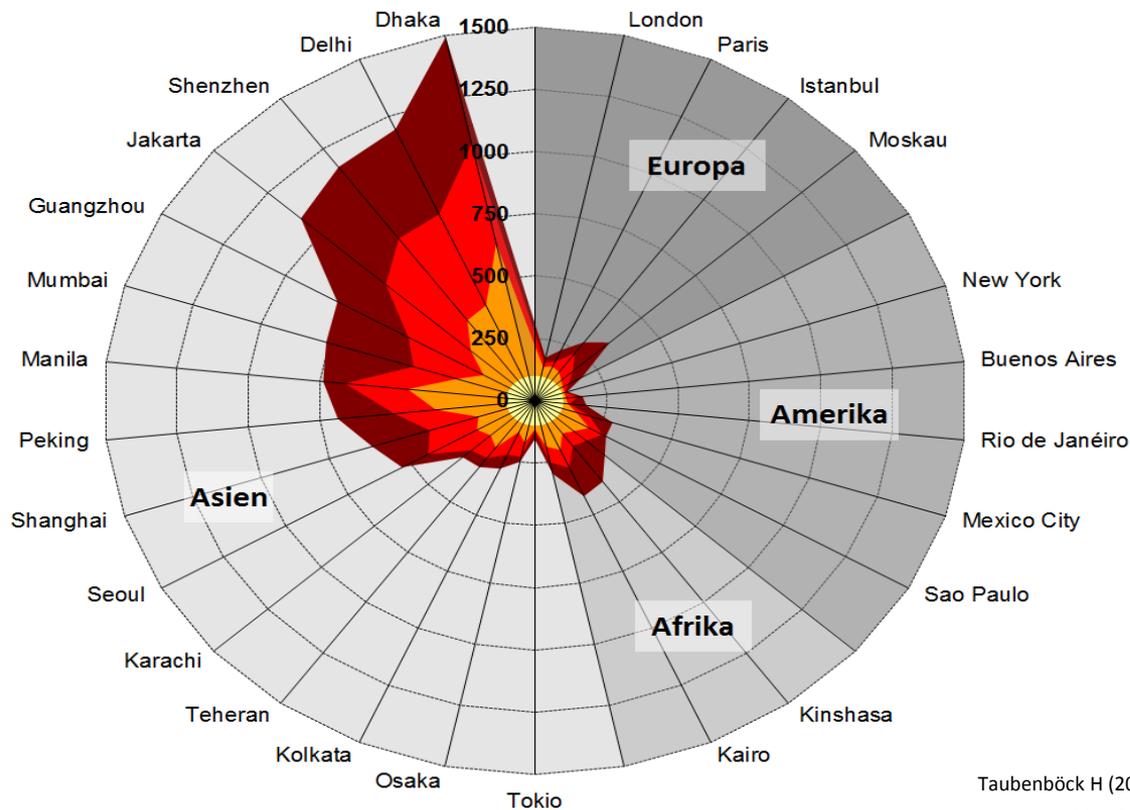
# MegaCities



Taubenböck H (2015): *Ohne Limit? Das Flächenwachstum der Megacities*. SpringerSpektrum. S. 49-58.



# Relatives räumliches Wachstum von MegaCities



Taubenböck H (2015): *Ohne Limit? Das Flächenwachstum der Megacities*. SpringerSpektrum. S. 49-58.



# MegaCities

- Europa – Afrika - Amerika

▪ <a href="#"><u>Moscow</u></a>	17
▪ <a href="#"><u>London</u></a>	14
▪ <a href="#"><u>Paris</u></a>	12
▪ <a href="#"><u>Rhine-Ruhr</u></a>	11
▪ <a href="#"><u>Istanbul</u></a>	15
▪ <a href="#"><u>Lagos</u></a>	21
▪ <a href="#"><u>Cairo</u></a>	19
▪ <a href="#"><u>Kinshasa</u></a>	13
▪ <a href="#"><u>New York City</u></a>	24
▪ <a href="#"><u>Mexico City</u></a>	22
▪ <a href="#"><u>Los Angeles</u></a>	19
▪ <a href="#"><u>São Paulo</u></a>	21
▪ <a href="#"><u>Buenos Aires</u></a>	17
▪ <a href="#"><u>Rio de Janeiro</u></a>	14

- Asia

▪ <a href="#"><u>Tokyo-Yokohama</u></a>	38
▪ <a href="#"><u>Jakarta</u></a>	30
▪ <a href="#"><u>Seoul</u></a>	26
▪ <a href="#"><u>Delhi</u></a>	26
▪ <a href="#"><u>Shanghai</u></a>	25
▪ <a href="#"><u>Karachi</u></a>	24
▪ <a href="#"><u>Beijing</u></a>	22
▪ <a href="#"><u>Mumbai</u></a>	21
▪ <a href="#"><u>Osaka</u></a>	20
▪ <a href="#"><u>Manila</u></a>	20
▪ <a href="#"><u>Dhaka</u></a>	18
▪ <a href="#"><u>Bangkok</u></a>	15
▪ <a href="#"><u>Kolkata</u></a>	15
▪ <a href="#"><u>Tehran</u></a>	13
▪ <a href="#"><u>Guangzhou</u></a>	13
▪ <a href="#"><u>Shenzhen</u></a>	12



# Attribute der MegaCities

- Positiv

1. **Schnellerer sozialer Aufstieg**
2. Bessere Schulen und Ausbildung
3. Höher qualifizierte Jobs
4. Höher bezahlte Jobs
5. Bessere medizinische Versorgung
6. Generell mehr Möglichkeiten und Chancen auf engem Raum
7. Kunst und kulturelle Atmosphäre, Events

- Negativ

1. Müll und Verschmutzung
2. Slums
3. Verkehrsüberlastung
4. Wasserverschmutzung
5. Schlechte Grundversorgung – Elektrizität/Wasser
6. Innere Unruhen
7. Wohnungsnot
8. Transport
9. Politische Kämpfe
10. Schlechte sanitäre Versorgung
11. Verschmutzung natürlicher Ressourcen
12. Luftverschmutzung
13. Wenig Erholungsflächen
14. Gesundheitsrisiken - Epidemien



# Tokyo, Japan

derzeitige Bevölkerung = 36.7 Millionen  
voraussichtliche Bevölkerung 2025 = 37.1 Millionen



# Mexico City, Mexico

derzeitige Bevölkerung = 19.5 Millionen  
voraussichtliche Bevölkerung 2025 = 20.7 Millionen



# Sao Paulo, Brasilien

derzeitige Bevölkerung = 19.9 Millionen  
voraussichtliche Bevölkerung 2025 = 23.7 Millionen



# New York, USA

derzeitige Bevölkerung = 20.4 Millionen  
voraussichtliche Bevölkerung 2025 = 20.6 Millionen



**2050 leben ca. 75% der Weltbevölkerung  
auf weniger als 2,8% der Erdoberfläche!**

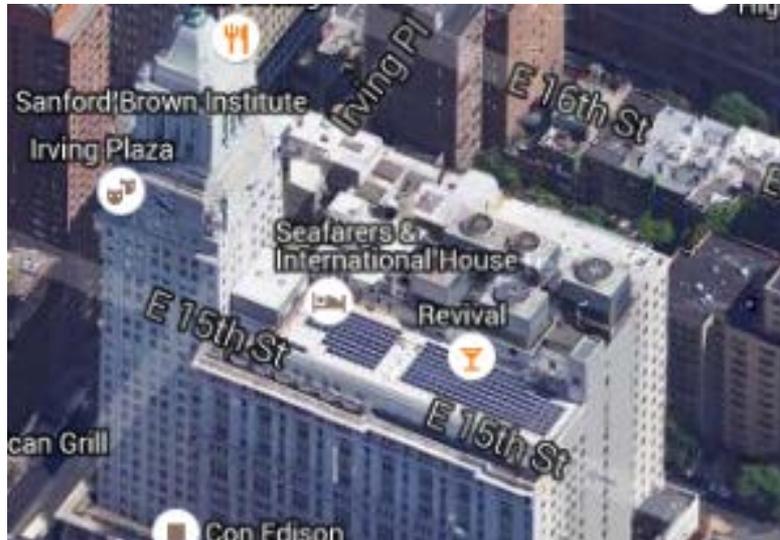
**Können sich MegaCities selbst  
regenerativ versorgen?**

Taubenböck H (2015): *Ohne Limit? Das Flächenwachstum der  
Megacities.*



## Können sich MegaCities selbst regenerativ versorgen?

- Windenergie nicht möglich
- Solarthermische Kraftwerke CSP nicht möglich
- PV möglich, aber eingeschränkt





# New York City, Manhattan

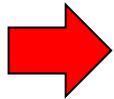
## Nutzbare Stadtfläche

- max. 30%
- Realistisch gemäß einer Studie der TU Berlin für den Großraum Berlin ca. 10-20% (Quelle: [www.pvupscale.org](http://www.pvupscale.org))



## Rechenbeispiel Peking

- Zukünftige MegaCity Peking mit 130 Mio. Einwohner
- Heutiger Strombedarf >100TWh/a
- Fläche des verdichteten Raums
  - ca. 470 km<sup>2</sup>
  - mit 25000 Pers./km<sup>2</sup> (vergl. Wert: Manhattan)
  - und 11,8 Mio Einwohner
- Maximale Eigenproduktion bei 20% Nutzungsgrad der Stadtfläche mit PV: 14,2 TWh/a



D.h. in hoch verdichteten Ballungsräumen kann nur maximal 15% des Strombedarfs selbst erzeugt werden (aber fluktuierend!)



Quelle: DPA, Peking bei Nacht



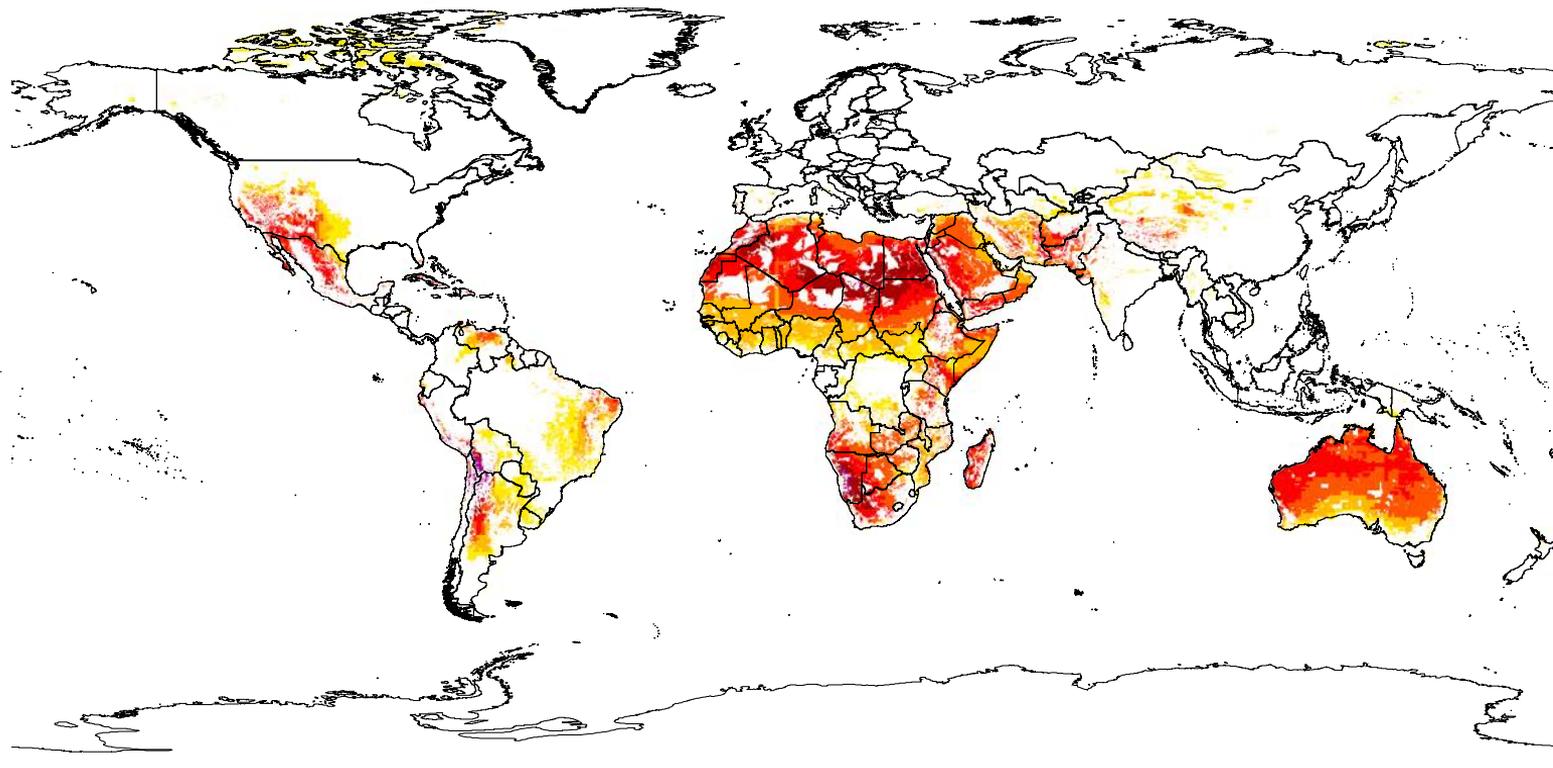
**2050 leben ca. 75% der Weltbevölkerung  
auf weniger als 2,8% der Erdoberfläche!**

**Diese Ballungsräume werden sich NICHT  
dezentral versorgen lassen!**

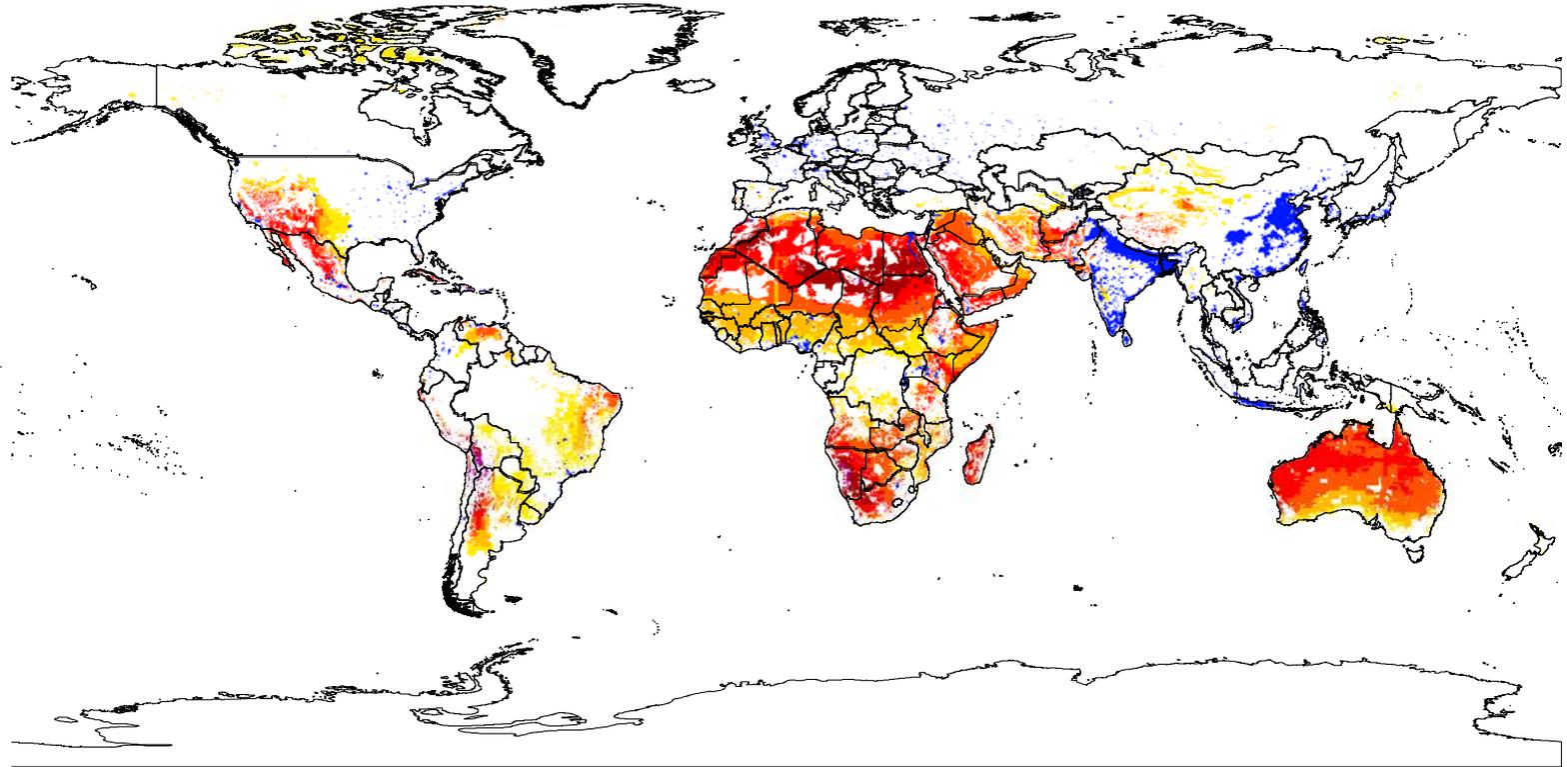
Taubenböck H (2015): *Ohne Limit? Das Flächenwachstum der  
Megacities.*



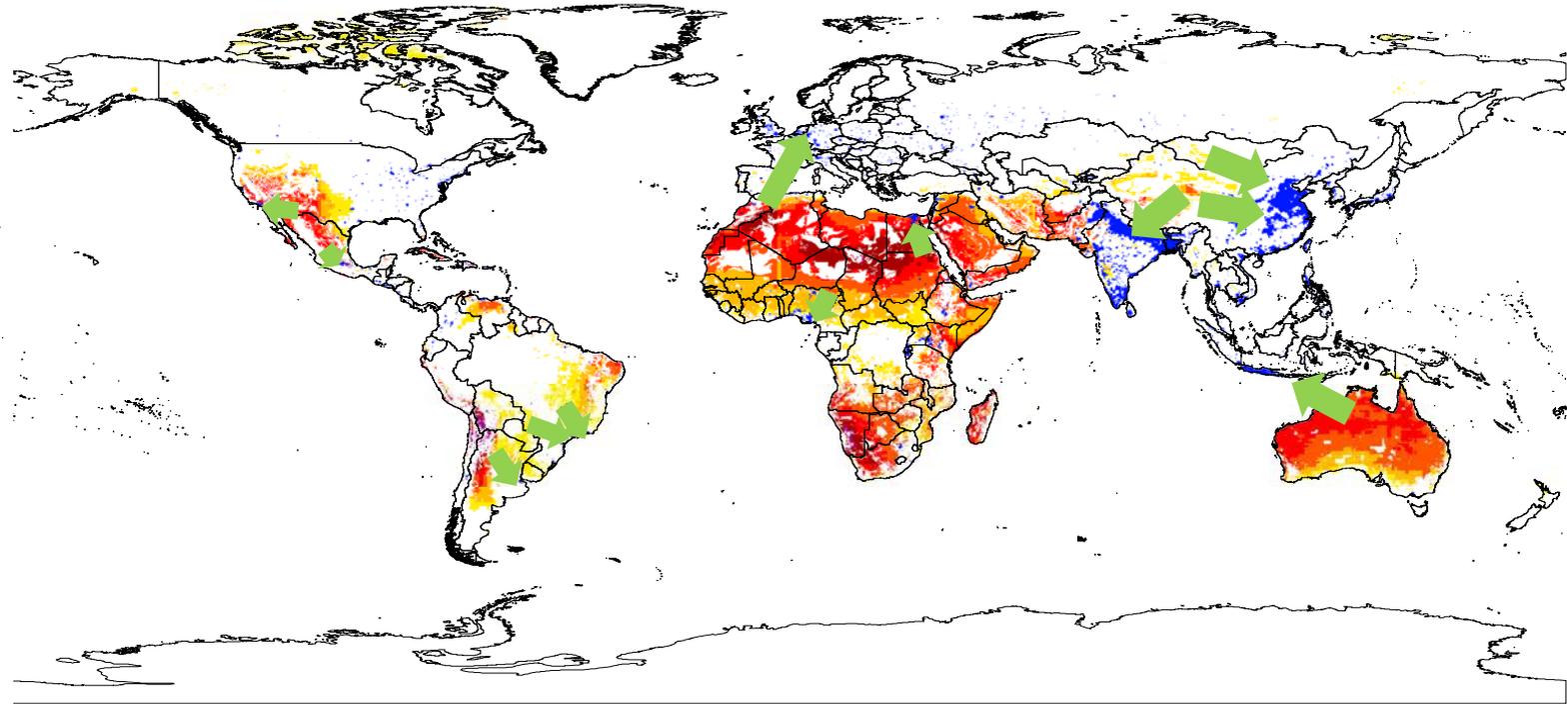
# Solares Potenzial



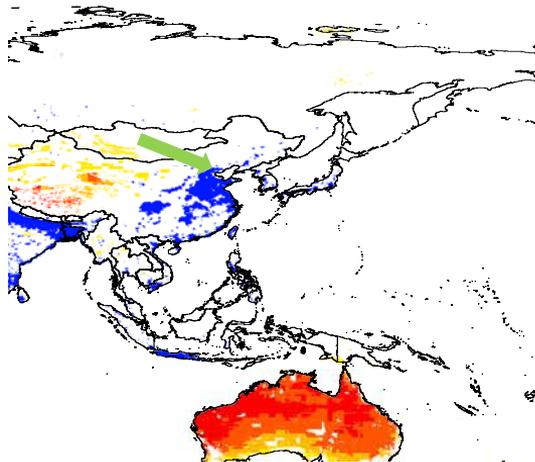
# Solares Potenzial versus Bevölkerung



# Solare Hotspots versus MegaCities



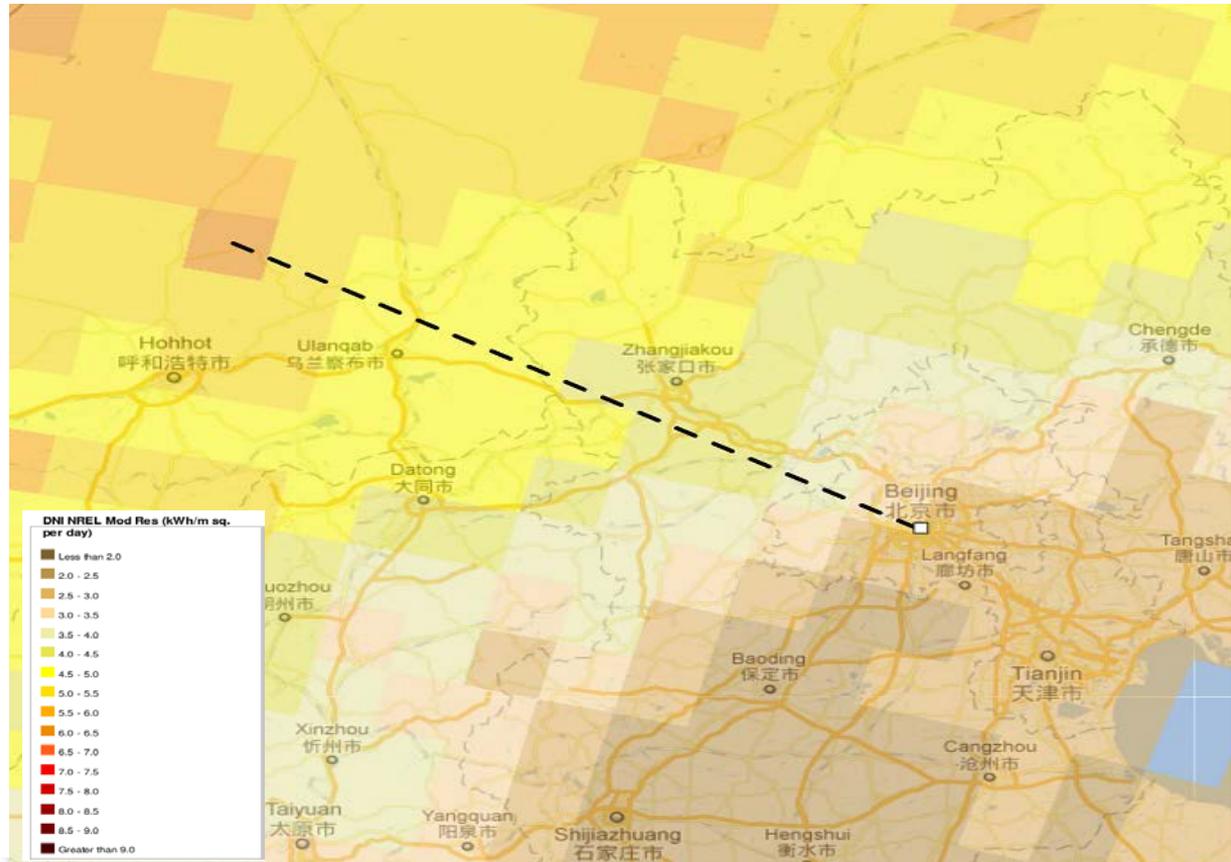
# Solar Hotspot für Peking



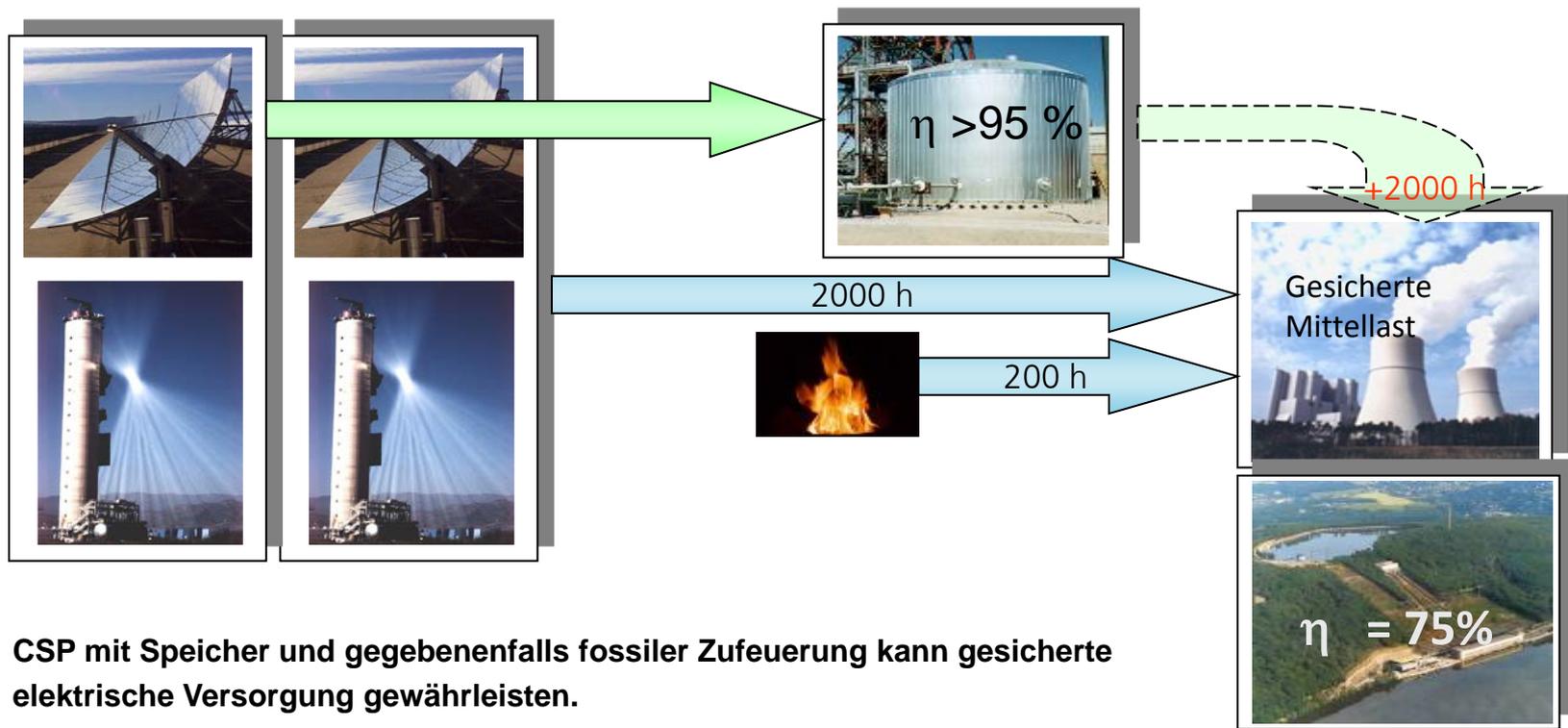
# Solar Hotspot für Peking

## Solarer Hotspot:

- Nördlich von Hohhot (Sanyuanjingxiang)
- Längengrad: 112.11° East
- Breitengrad: 41.65° North
- Höhe: 1685m
- Solare Ressource → 2227 kWh/a
- Distanz nach Peking ca. 420 km



# Thermischer Speicher gegenüber elektrischem Speicher



CSP mit Speicher und gegebenenfalls fossiler Zufeuerung kann gesicherte elektrische Versorgung gewährleisten.



# Solar Hotspot für Peking



- **Scenario I: 20% CSP**

- **Salt 100**

- 33 plants
    - 325 km<sup>2</sup>
    - 18 x 18 km<sup>2</sup>

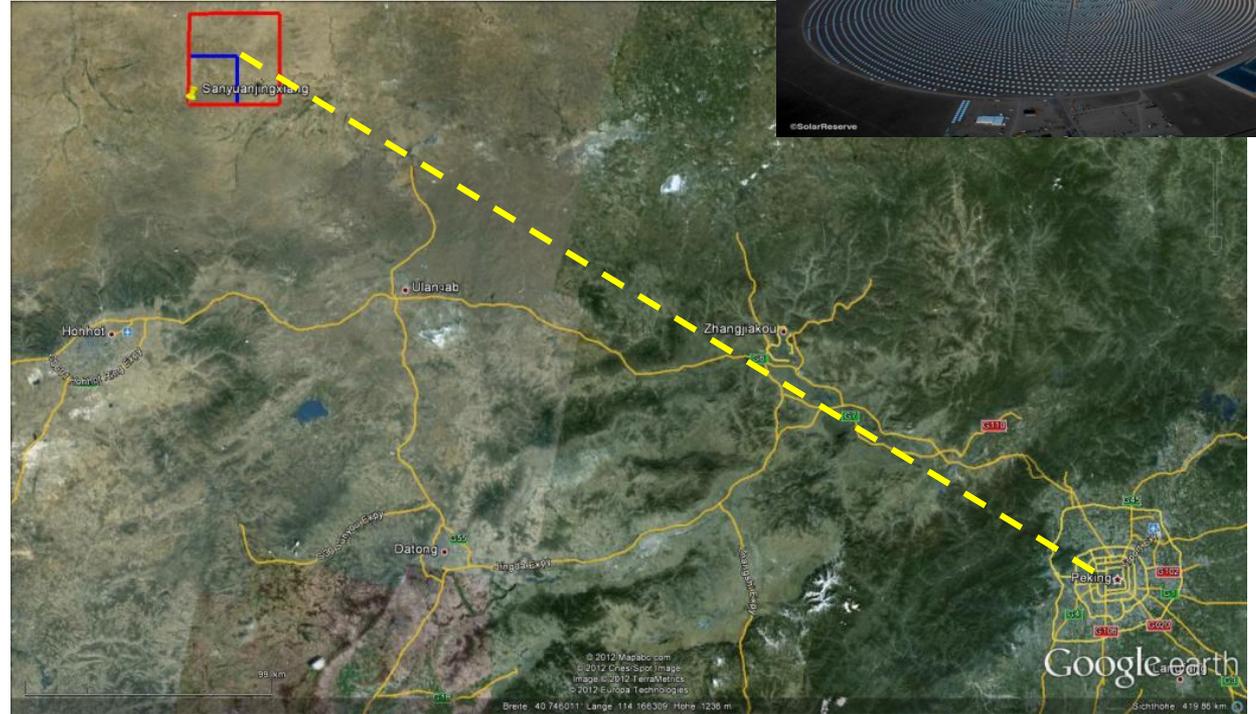
- **Scenario II: 70% CSP**

- **Salt 100**

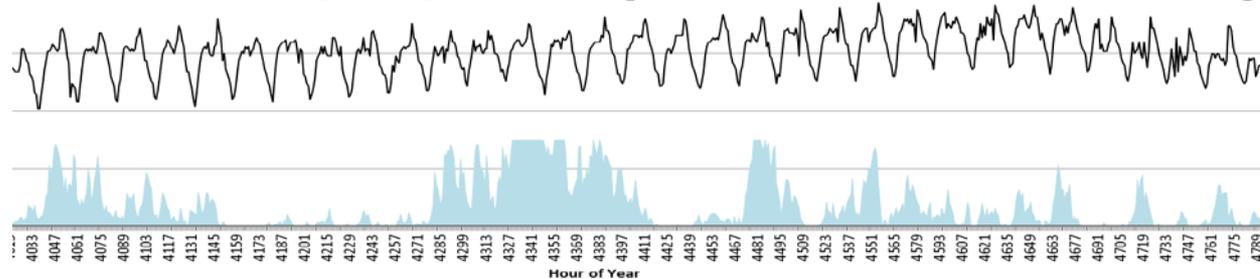
- 117 plants
    - 1137 km<sup>2</sup>
    - 34 x 34 km<sup>2</sup>

- **Übertragungsverluste**

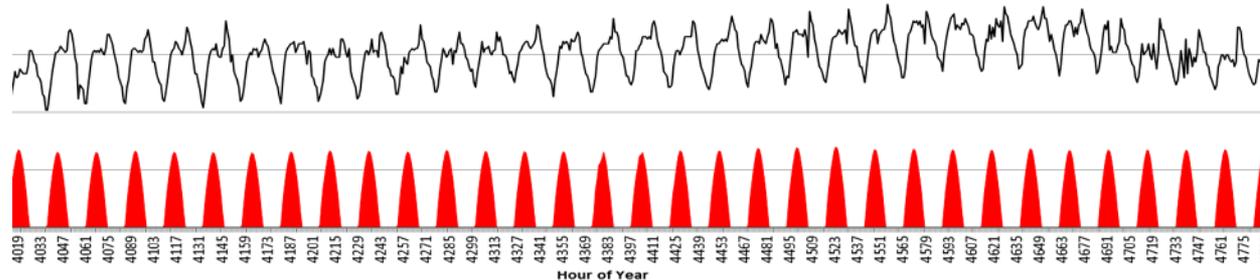
- **2,25%**



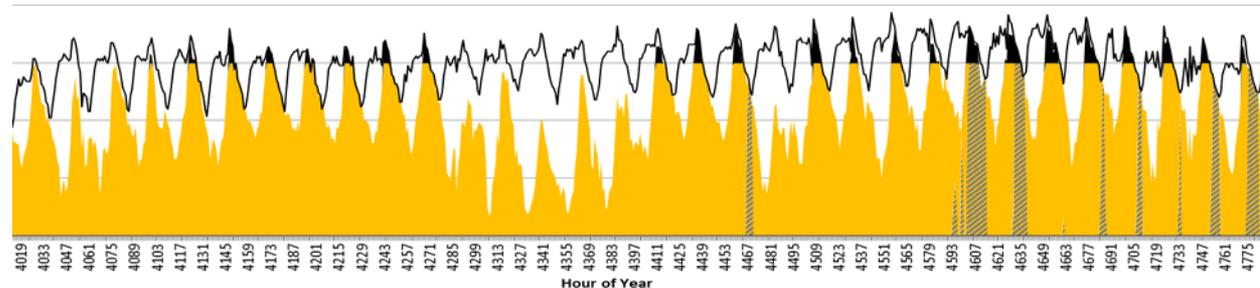
# Regenerative Hotspot (100% regenerativ und 100% Versorgungssicherheit)



Wind



PV

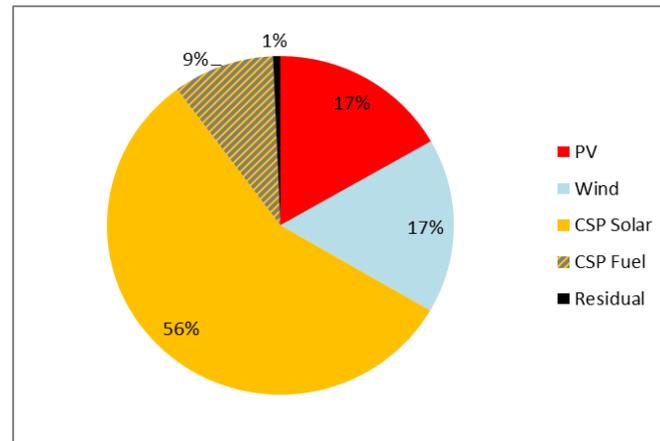


Diesel

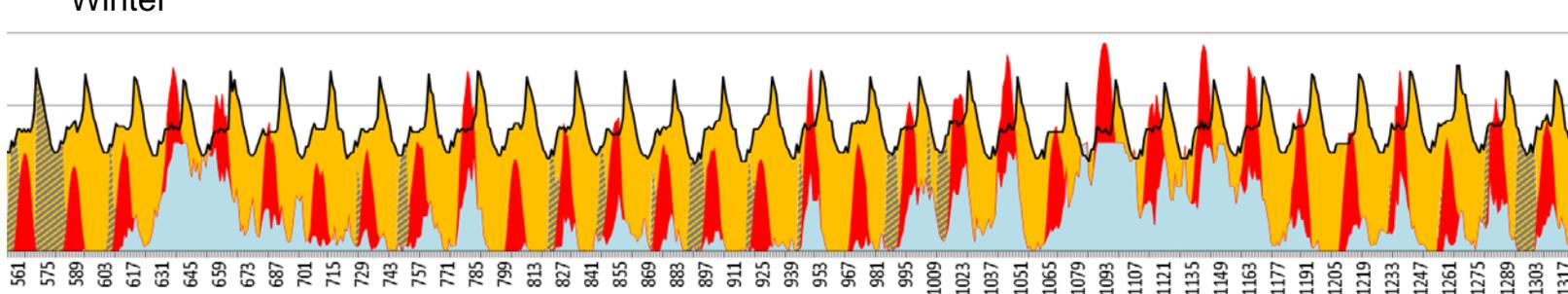
CSP



# Regenerative Hotspot (100% regenerativ und 100% Versorgungssicherheit)

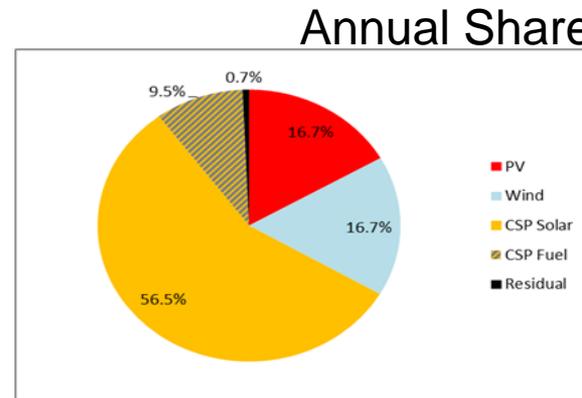
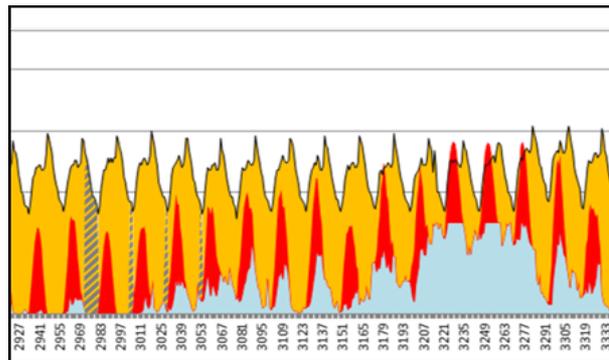


Winter



# Regenerative Hotspot (100% regenerativ und 100% Versorgungssicherheit)

Ergebnis  
für eine  
Wüstenregion



# Zusammenfassung

- Die weltweite Energieerzeugung schwenkt von einer fossil basierten, zu einer auf regenerativen Quellen beruhender Energieversorgung. Der Veränderungsprozess wird einige Jahrzehnte in Anspruch nehmen.
- Beobachtung einer massiven Agglomeration der Weltbevölkerung auf Ballungsräume und Entvölkerung der Landflächen => MegaCities > 100Mio. Einwohner
- Grund: Sozioökonomische-Besserstellung der Menschen in Ballungsräumen gegenüber der Landbevölkerung
- Voraussichtlich Konzentration von 75% der Weltbevölkerung auf weniger als 2,8% der Landfläche in 2050
- Regenerative dezentrale Selbstversorgung dieser Ballungsräume/MegaCities wahrscheinlich nicht möglich
- Versorgung der Ballungsräume aus „Solaren bzw. regenerativen Hotspots“ unter Sicherstellung einer 100% Versorgungssicherheit und Transport der Elektrizität mit HGÜ in die Ballungsräume



# Kontakt

Robert Pitz-Paal	<a href="mailto:robert.pitz-paal@dlr.de">robert.pitz-paal@dlr.de</a>	+49 2203 601 -2744
Bernhard Hoffschmidt	<a href="mailto:bernhard.hoffschmidt@dlr.de">bernhard.hoffschmidt@dlr.de</a>	+49 2203 601 - 3200
Jürgen Kern	<a href="mailto:juergen.kern@dlr.de">juergen.kern@dlr.de</a>	+49 711 6862 - 8119
Tobias Fichter	<a href="mailto:tobias.fichter@dlr.de">tobias.fichter@dlr.de</a>	+49 711 6862 - 779
Dr. Massimo Moser	<a href="mailto:massimo.moser@dlr.de">massimo.moser@dlr.de</a>	+49 711 6862 - 334
Dr. Franz Trieb	<a href="mailto:franz.trieb@dlr.de">franz.trieb@dlr.de</a>	+49 711 6862 - 423

[www.DLR.de/tt/system](http://www.DLR.de/tt/system)

