

# **Sonne und Wind verändern den Strommarkt**

**Ruggero Schleicher-Tappeser**

**11. Nationale Photovoltaik-Tagung 2013**

**11. und 12. März 2013, Congress Center Basel**

# Der Bund

Bern, Samstag, 11. April 1981

## In Bälde Strom vom eigenen Dach?

**Ölkonzerne wollen mit Solarzellen den Elektrizitätsmarkt revolutionieren**

«Die Photovoltaik ist reif, um aus dem Kreis der Spezialisten herauszutreten und von den Leuten beachtet zu werden, die politische und wirtschaftliche Entscheidungen treffen», erklärte der zurückhaltende französische Regierungsvertreter im Herbst an der dritten Konferenz für photovoltaische Sonnenenergie der Europä-

Ohne Abgase und Dampffahnen, ohne Turbinen und Kühltürme können Solarzellen direkt aus Sonnenlicht Strom machen. Noch wird diese Energiequelle in der Öffentlichkeit kaum zur Kenntnis genommen. An internationalen Fachkonferenzen jedoch ist man sich einig: In Zukunft wird die Photovoltaik eine ernstzunehmende Rolle spielen. Die amerikanische Regierung rechnet damit, dass sie in sieben bis zehn Jahren gegenüber anderen Arten der Stromerzeugung konkurrenzfähig ist. Nach Plänen der Industrie soll in den USA in 25 Jahren so viel Strom aus Sonnenlicht erzeugt werden, wie heute insgesamt verbraucht wird. In Entwicklungsländern, wo kein dichtes Stromnetz vorhanden ist, sind Solarzellen vielfach schon heute rentabel. Bezeichnenderweise hat besonders die Ölindustrie bereits riesige Summen in diese neue Technik investiert.

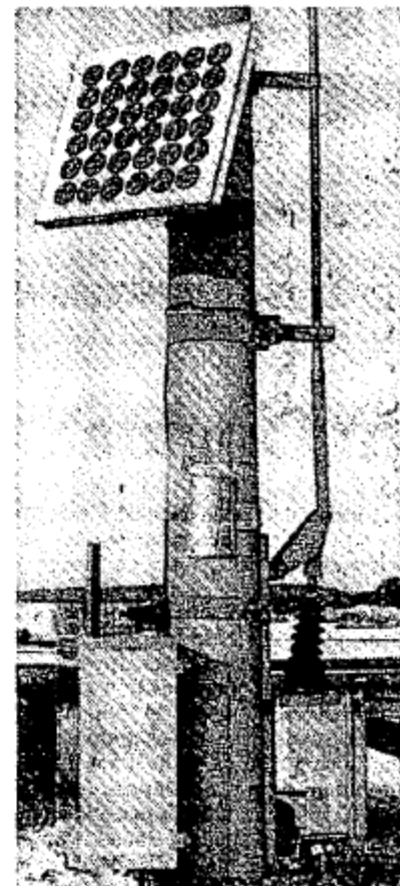
Energy Research, Development and Demonstration Act. Dieser beauftragte das Energieministerium, ein «aggressives Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprogramm» für photovoltaische Systeme durchzuführen mit dem Ziel, dass Sonnenstrom 1988 «mit Elektrizität aus dem öffentlichen Netz konkurrieren kann».

Hundertsechzig Millionen Dollar standen letztes Jahr der photovoltaischen Abteilung im amerikanischen Energieministerium zur Verfügung. Das ist ungefähr dreimal so viel wie in der Schweiz für die Energieforschung insgesamt ausgegeben wird. Ein straffes Entwicklungsprogramm, in dessen Rahmen verschiedene Firmen um die besten Lösungen konkurrieren, dient dazu, die Kosten drastisch zu senken. Nach den Amerikanern starteten auch andere Staaten nationale Solarzellen-Forschungsprogramme: Frankreich und Japan begannen 1974, 1975 entschloss sich die Europäische Gemeinschaft, die photovoltaische Technik entschieden zu fördern, und 1977 folgte die Bundesrepublik mit einem bedeutenden Programm.

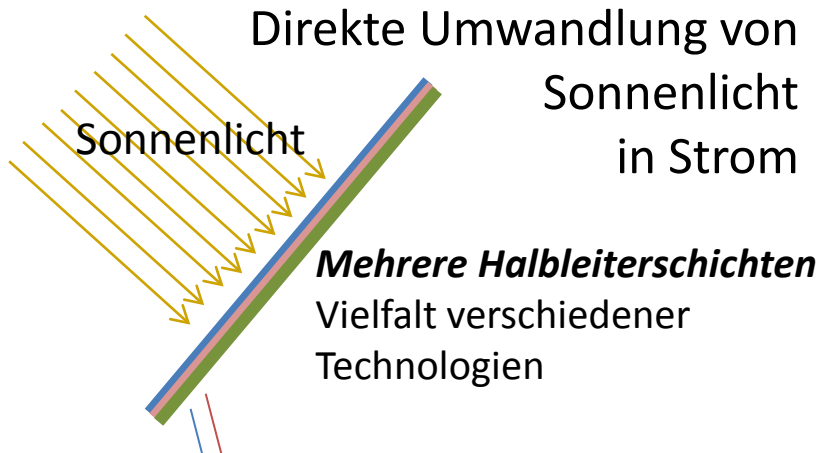
Aber nicht nur öffentliche Gelder sind in die Entwicklung geflossen. Von allem

von einer Verbesserung der heutigen Silizium-Zellen aus. Bisher verwendete man hochreines Ausgangsmaterial, wie es in der Halbleiterelektronik verwendet wird. Aus der flüssigen Siliziumschmelze werden mit hochkomplizierten Apparaturen armdicke, makellose Kristalle gezogen, die anschliessend unter grossem Materialverlust in feine, zerbrechliche Scheiben zersägt werden. Diese Siliziumscheiben müssen dann mit anderen Materialien so behandelt werden, dass die lichtempfindliche, stromproduzierende Schicht entsteht. Schliesslich werden Kontakte angebracht und jeweils rund fünfzig Zellen schlag- und wetterfest in einem ausgeklügelten Gehäuse verkapselt.

Bei jedem dieser Schritte sind grosse Einsparungen möglich: Auch weniger reines Silizium ist geeignet, das man nun in grösseren Mengen billig zu produzieren versucht. Um das kostspielige Kristallziehen zu umgehen, sind der führende amerikanische Anbieter Solarex und die mit AEG zusammenarbeitende deutsche Wacker dazu übergegangen, polykristallines (aus vielen kleinen und verschiedenartigen Kristallen bestehendes) Material in speziellen Formen zu giessen. Um auch das aufwendige Sägen zu umgehen, arbei-



# Photovoltaik ist eine systemverändernde Halbleiter-Technologie



- keine beweglichen Teile
- keine Wartung
- kein Brennstoff
- großes Kostensenkungspotential

Wechsel-  
richter

**Halbleiter: Leistungselektronik**

Funktion auf Mikroebene, extrem skalierbare, modulare Technik



- billige automatische Massenproduktion
- hohe Standardisierung
- Integration in bestehende Strukturen
- Skaleneffekte in der Anwendung gering

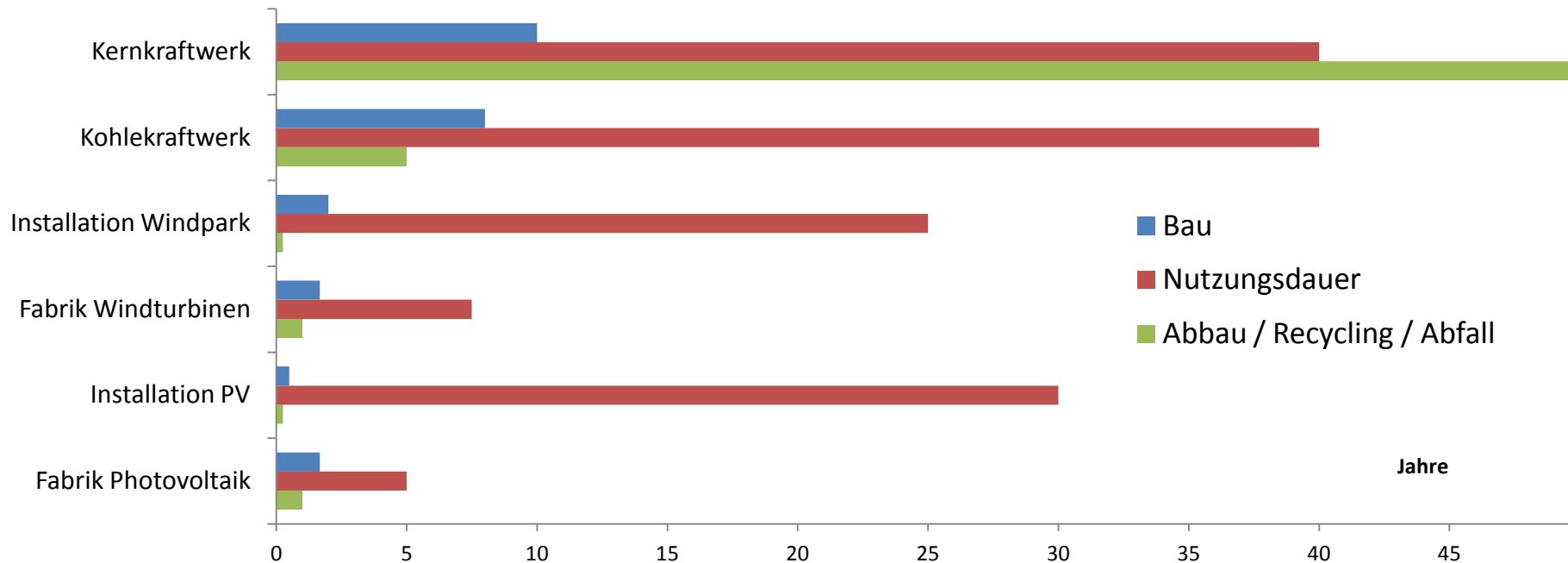


Photovoltaik + ITK-Techniken + Halbleiter-Leistungselektronik  
→ neue Optionen → tiefgreifender Wandel im Elektrizitätssystem

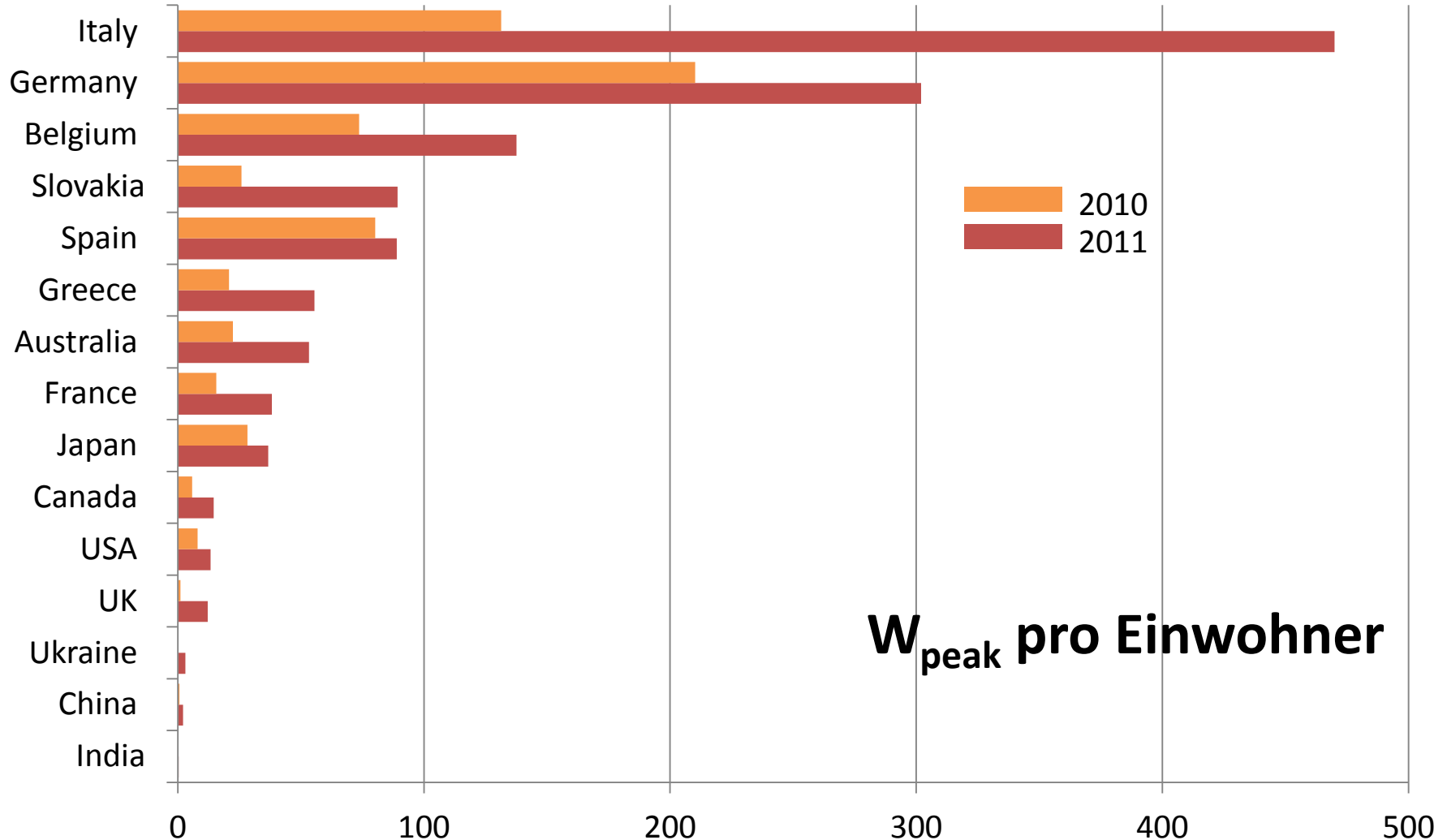
# Alle Beteiligten sind überfordert: 4- bis 10-mal schnellere Innovationszyklen

- Schnellerer Kapazitätsaufbau
- Schnellere Kostendegression
- Schnellere Transformation des Elektrizitätssektors

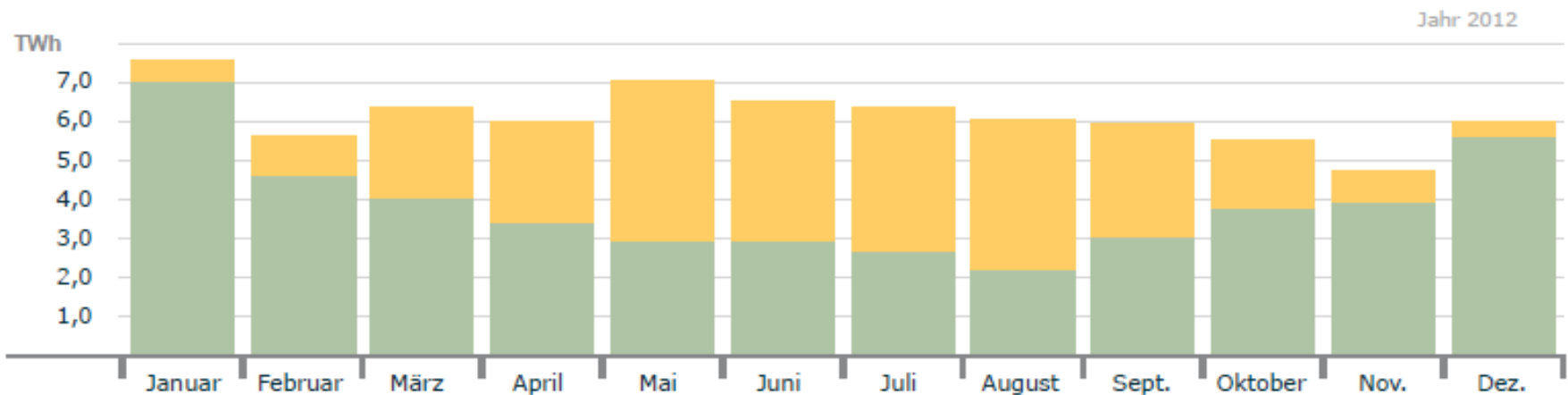
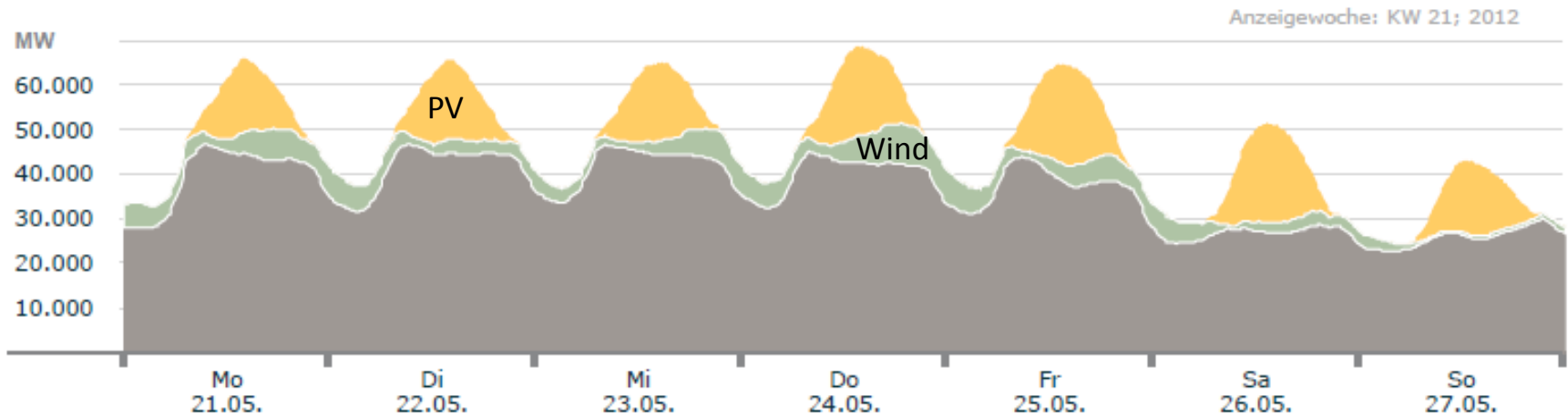
**Dramatische Beschleunigung gegenüber herkömmlichen Techniken**



# Deutschland und Italien spüren zuerst den Effekt der PV im Netz



# Stromproduktion Deutschland 2012



# Strom aus Sonne und Wind im System: Drei grundlegende Herausforderungen

---

## 1. Fluktuierende Stromerzeugung:

Direkt abhängig von variierenden Wetterbedingungen

- Prognose ist eine Herausforderung
- Flexibler Ausgleich erforderlich

## 2. Keine Grenzkosten:

Kein Brennstoff notwendig

- In der merit order ganz vorne, verdrängen konventionelle Kraftwerke
- Abregeln von Spitzen spart keine Produktionskosten

## 3. Dezentrale Erzeugung:

Photovoltaik und Wind onshore: kleine dezentrale Anlagen

- Verteilungsnetz: neue Aufgaben, mehr Systemverantwortung
- Eigenerzeugung: Prosumer sind neue Akteure im System



# Mehr Flexibilität: vier grundlegende Optionen kombinieren

## 1. Flexible Erzeugung

- Flexible Brennstoff-Kraftwerke als Lückenfüller
- Abregelung von FEE

## 2. Vermehrter Austausch

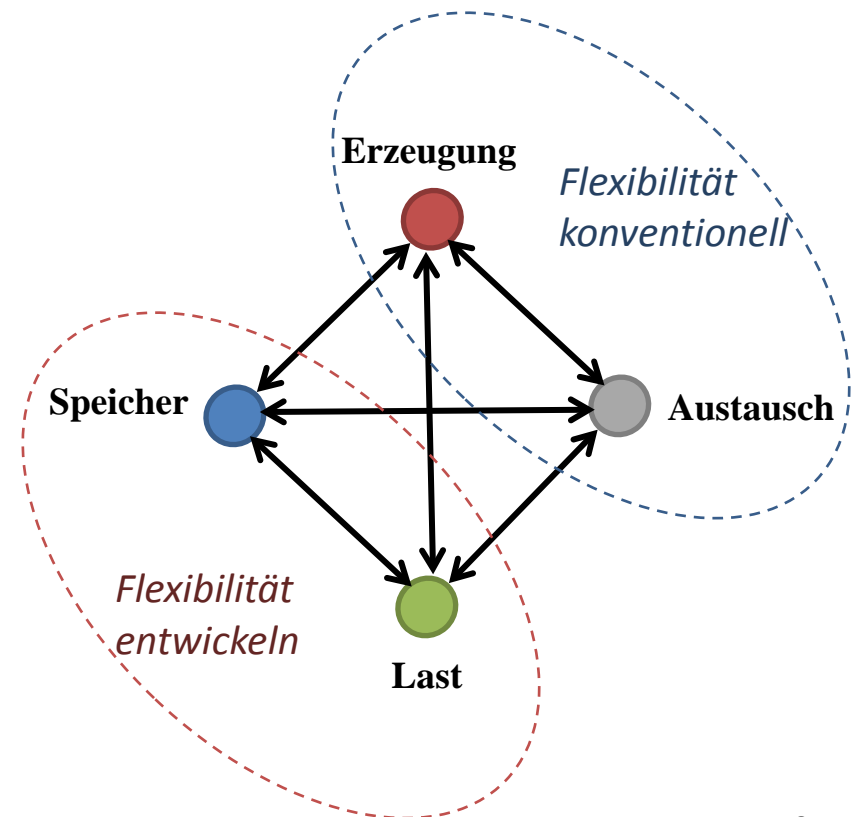
- Ausbau der Netze
- Auf allen Ebenen

## 3. Speicherung von Elektrizität

- braucht billigere Speicher
- Bei Erzeugung und Verbrauch

## 4. Lastmanagement

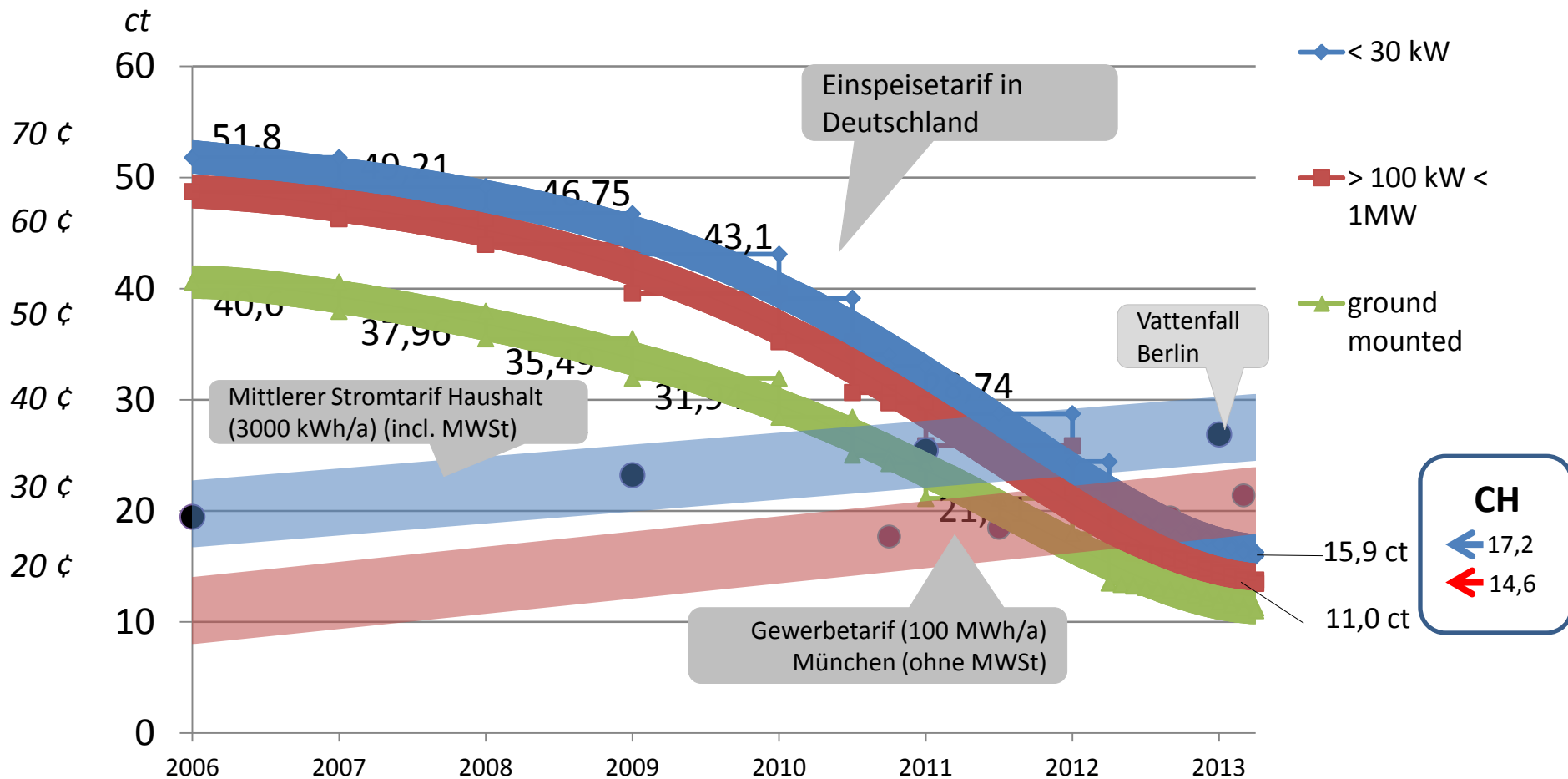
- braucht Anreize und Lernprozess
- Unterste Systemebene



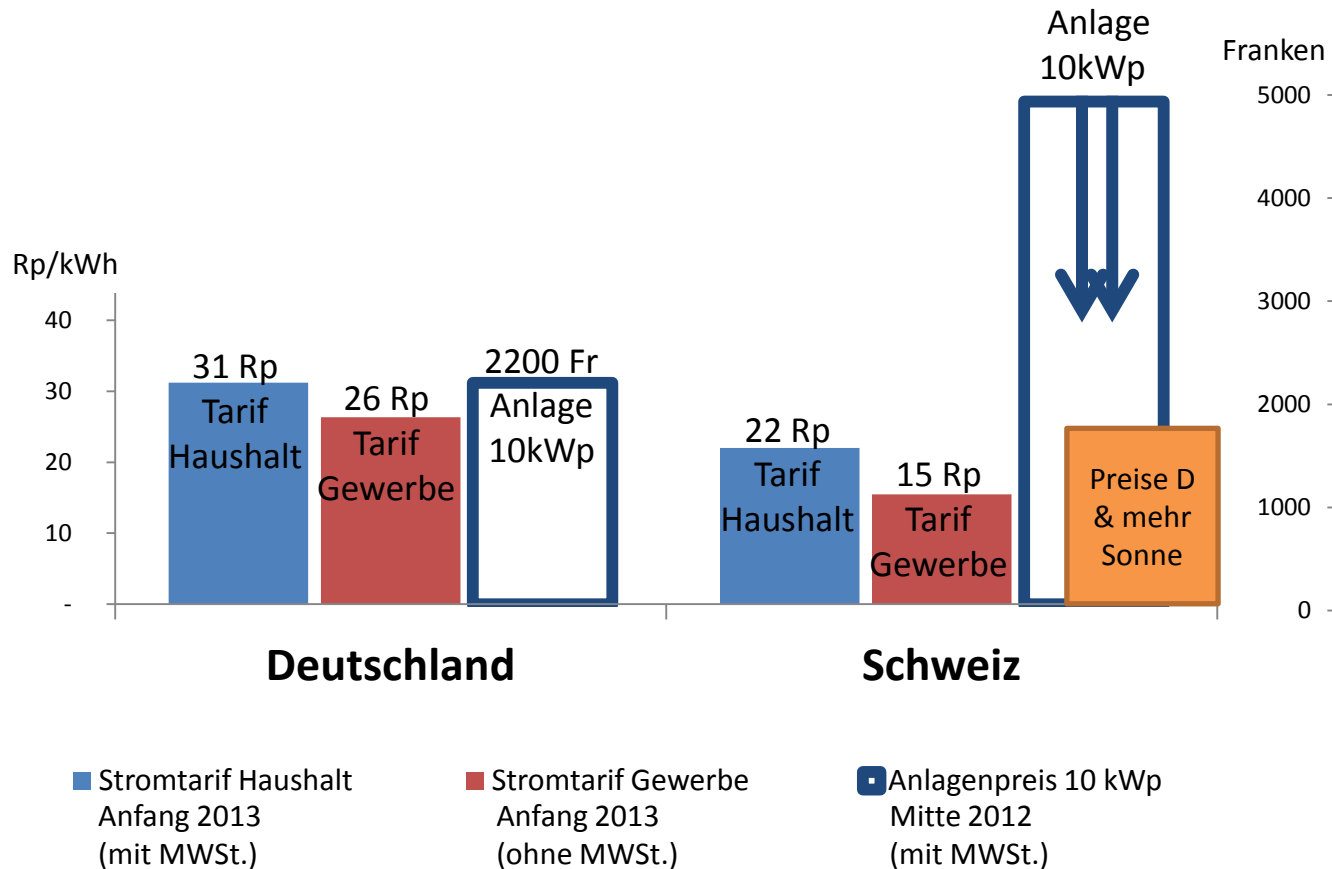


# **EIGENVERSORGUNG VERÄNDERT DAS SPIEL**

# DE: Schnell sinkender Einspeisetarif : Strom vom Dach billiger als aus dem Netz



# In der Schweiz: Strom billiger, PV-Anlagen teurer, Sonne stärker

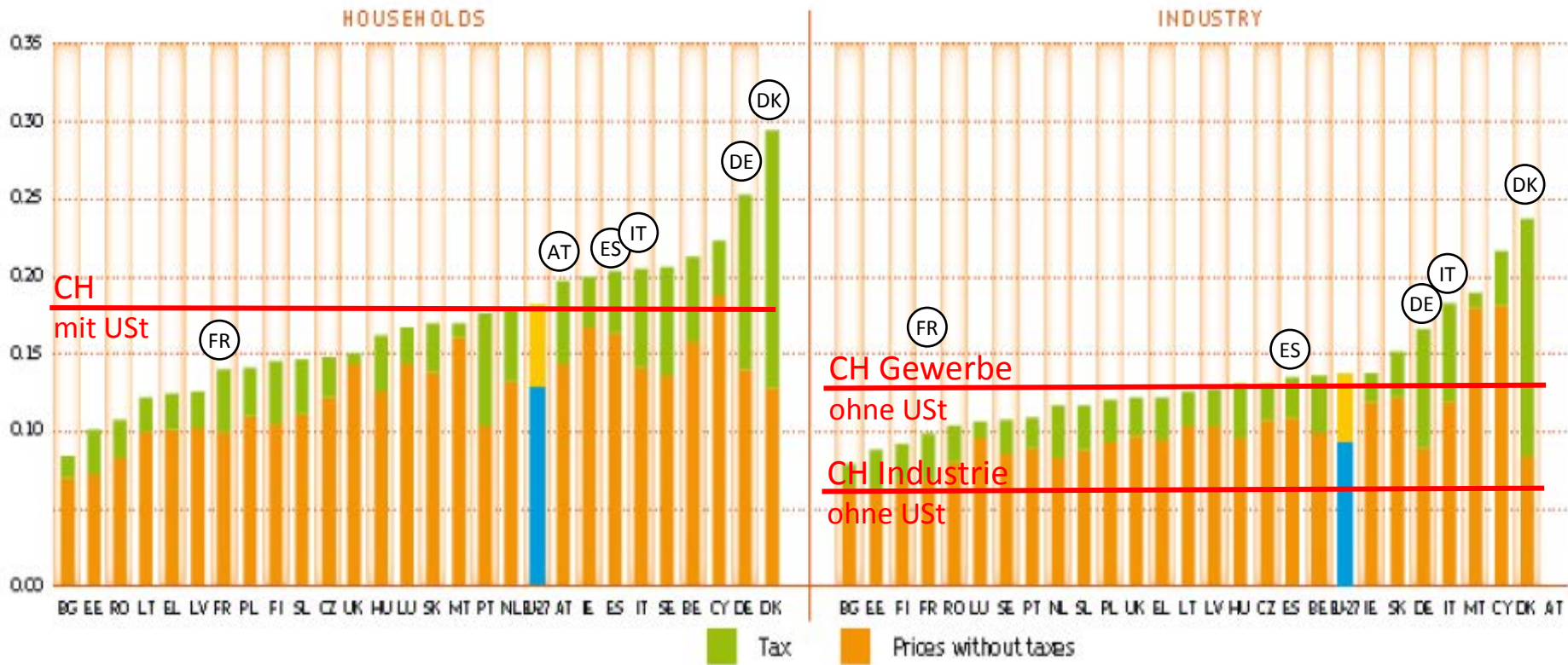


Daten: Tarife: VSE 2012, Stadtwerke München, 2013; Anlagenkosten: UVEK/BFE 2012, BSW 2013

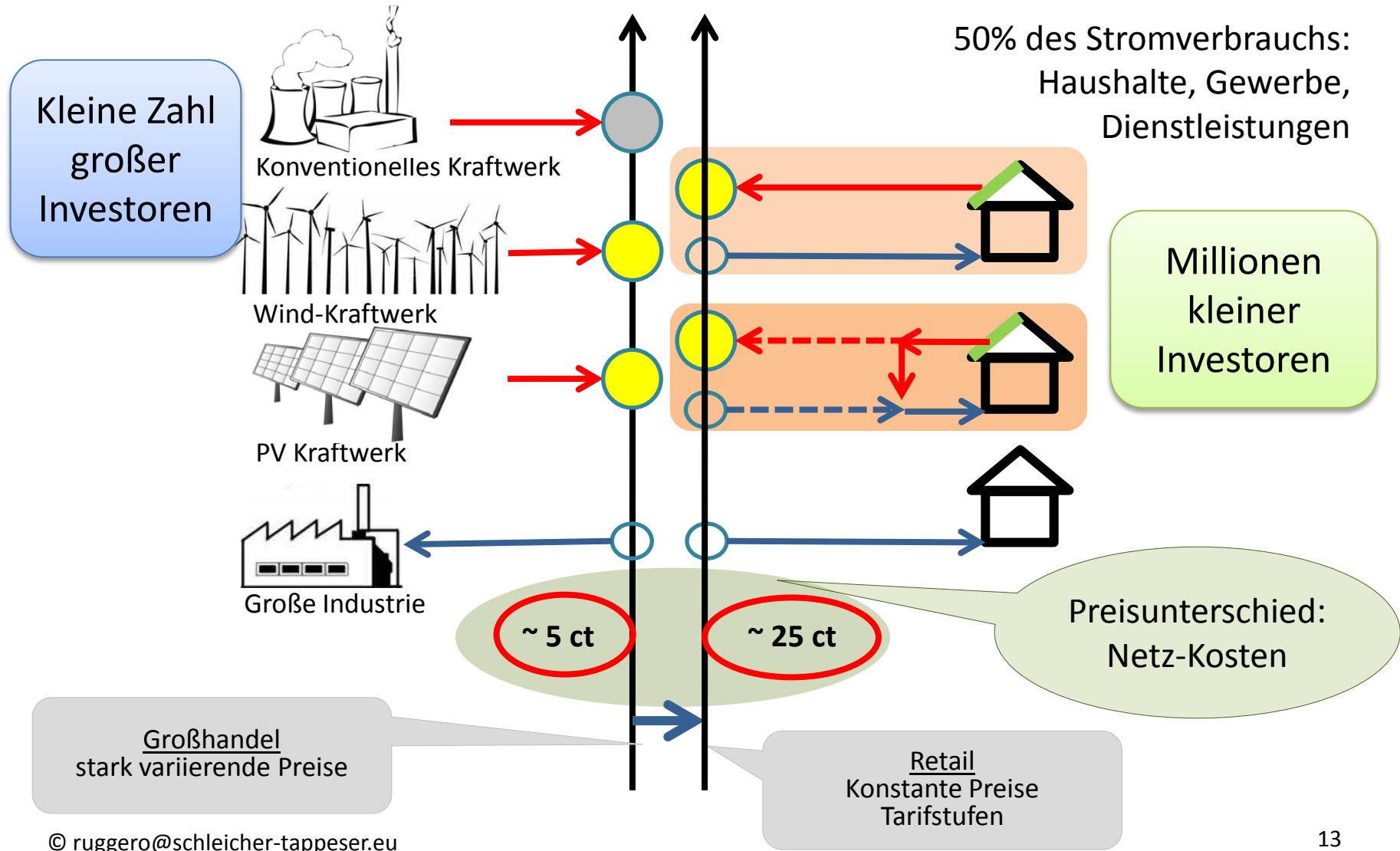
# Strompreise in Europa 2013

## Haushalte

## Gewerbe / mittlere Industrie



# Strom vom Dach: Wettbewerb auf der Verbraucherseite des Netzes



# Stromproduktion für den Eigenverbrauch: Kosten-Szenario für die nächsten vier Jahre

## Erfahrung 2006-2012:

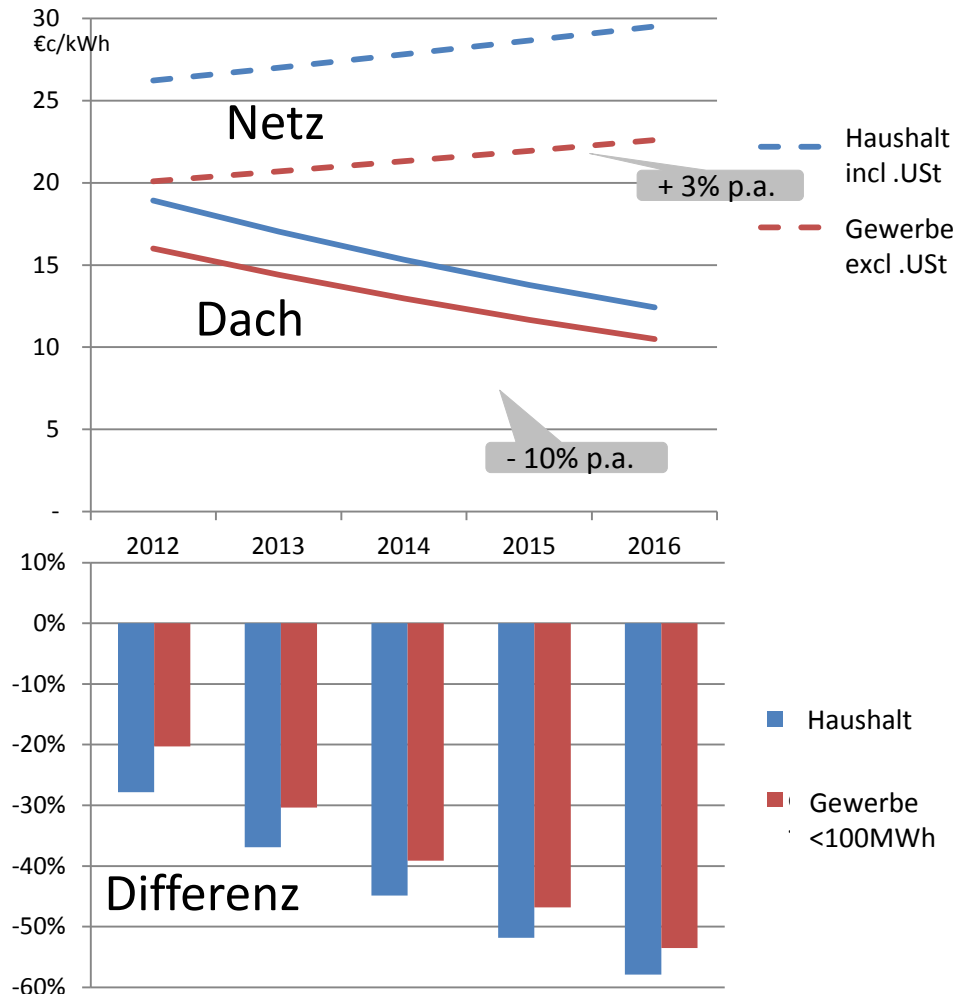
- Systempreis minus 16% pro Jahr
- Strompreis plus 3% pro Jahr

## Annahme 2012-2016:

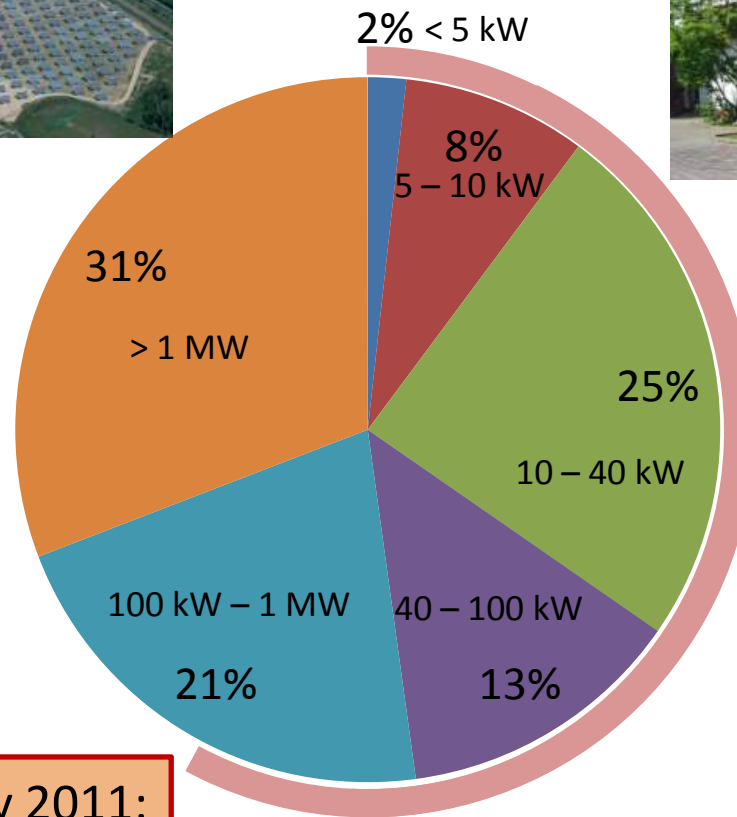
- Systempreis minus 10% pro Jahr
- Strompreis plus 3% pro Jahr

➤ In vier Jahren wird Strom vom Dach halb so viel kosten wie Haushalts-Strom aus dem Netz

➤ Boom für PV-Eigenversorgung und Steuerungstechnik



# Überwiegender Teil der PV-Installationen auf Dächern : für Eigenversorgung geeignet



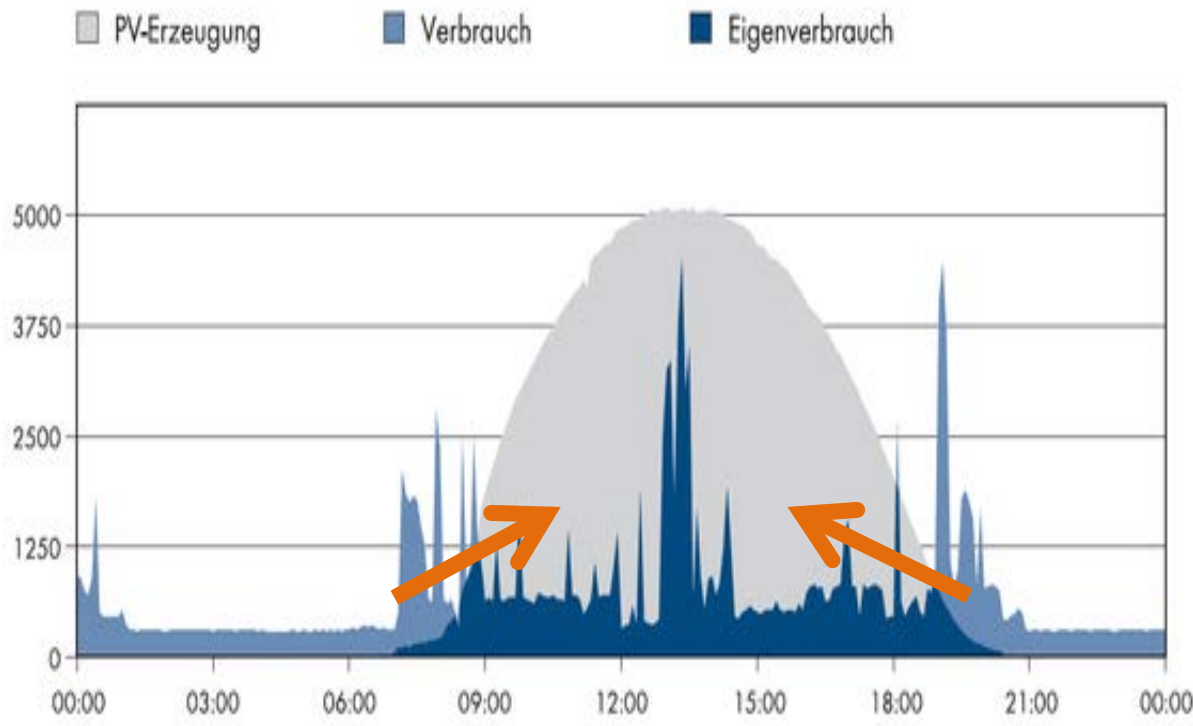
Installationen 2011



New installed capacity 2011:  
48% < 100 kW



# Stromverbrauch nicht nur bei Sonnenschein: Eigenversorgung im Haushalt zunächst schwierig



## Lasten in die Sonnenstunden verschieben

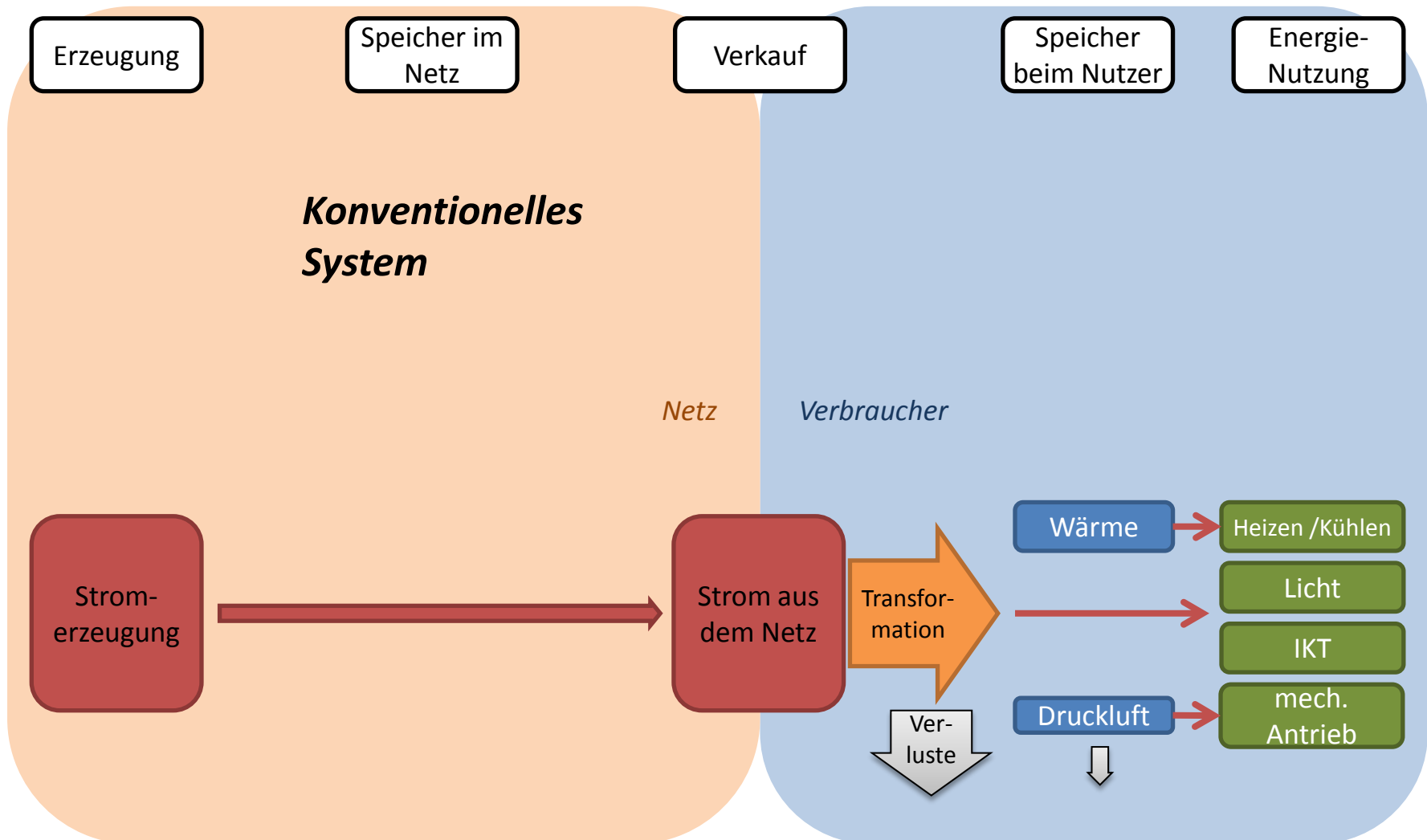
- Strom speichern
- Verbrauch verschieben
- Mit Wärmeversorgung und Mobilität koppeln
- **Flexibilität der Nutzersysteme nimmt massiv zu**

**Privathaushalt** wolkenloser Sommertag, 4 Personen, PV-Anlage 5 kW<sub>p</sub>

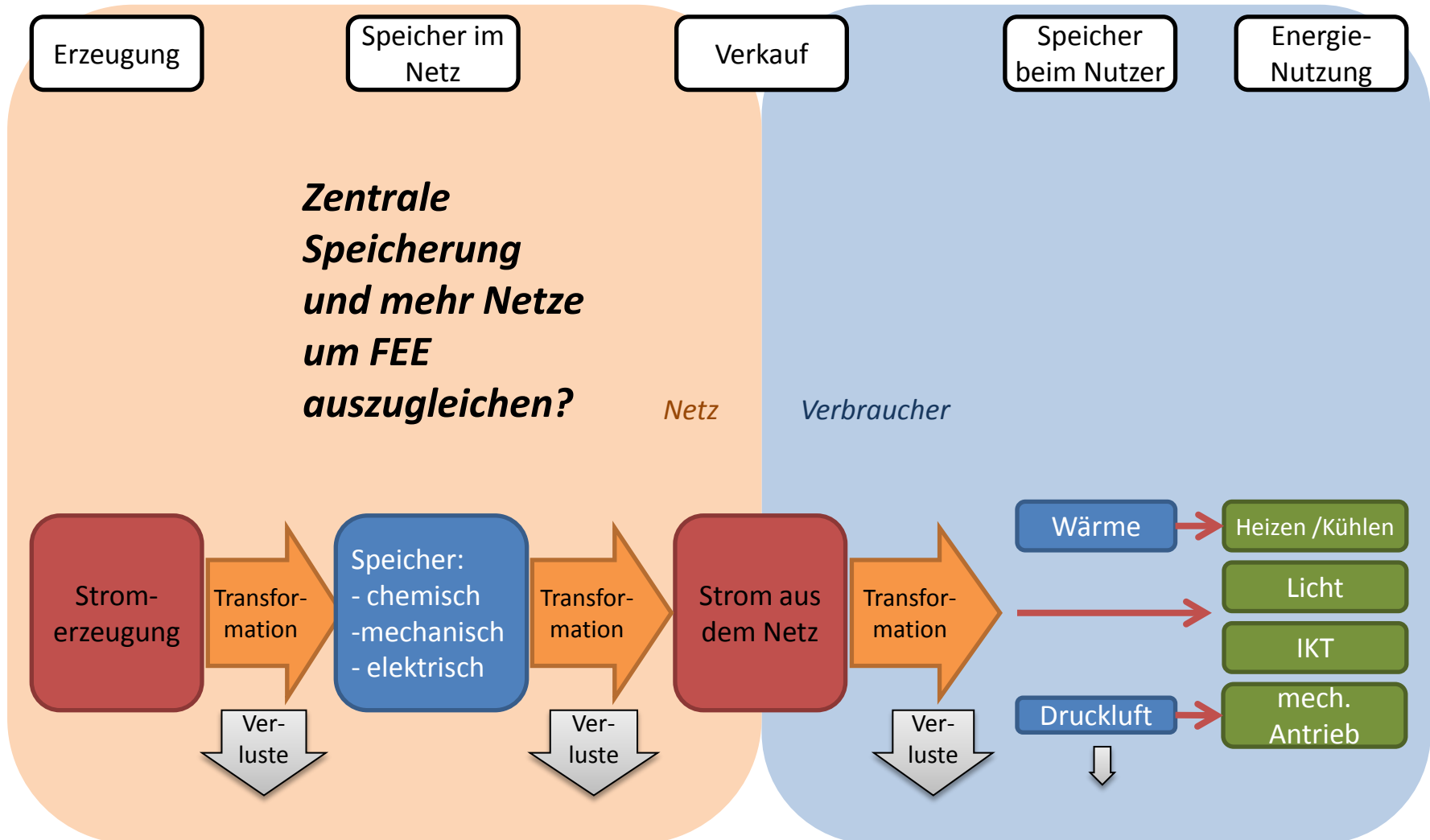
Ohne Zusatzmaßnahmen Eigenverbrauch nur ca 30%

**Gewerbe:** Verbrauch vor allem während der Sonnenstunden

# Flexibilität durch Speicherung: Wo ist es am effizientesten?

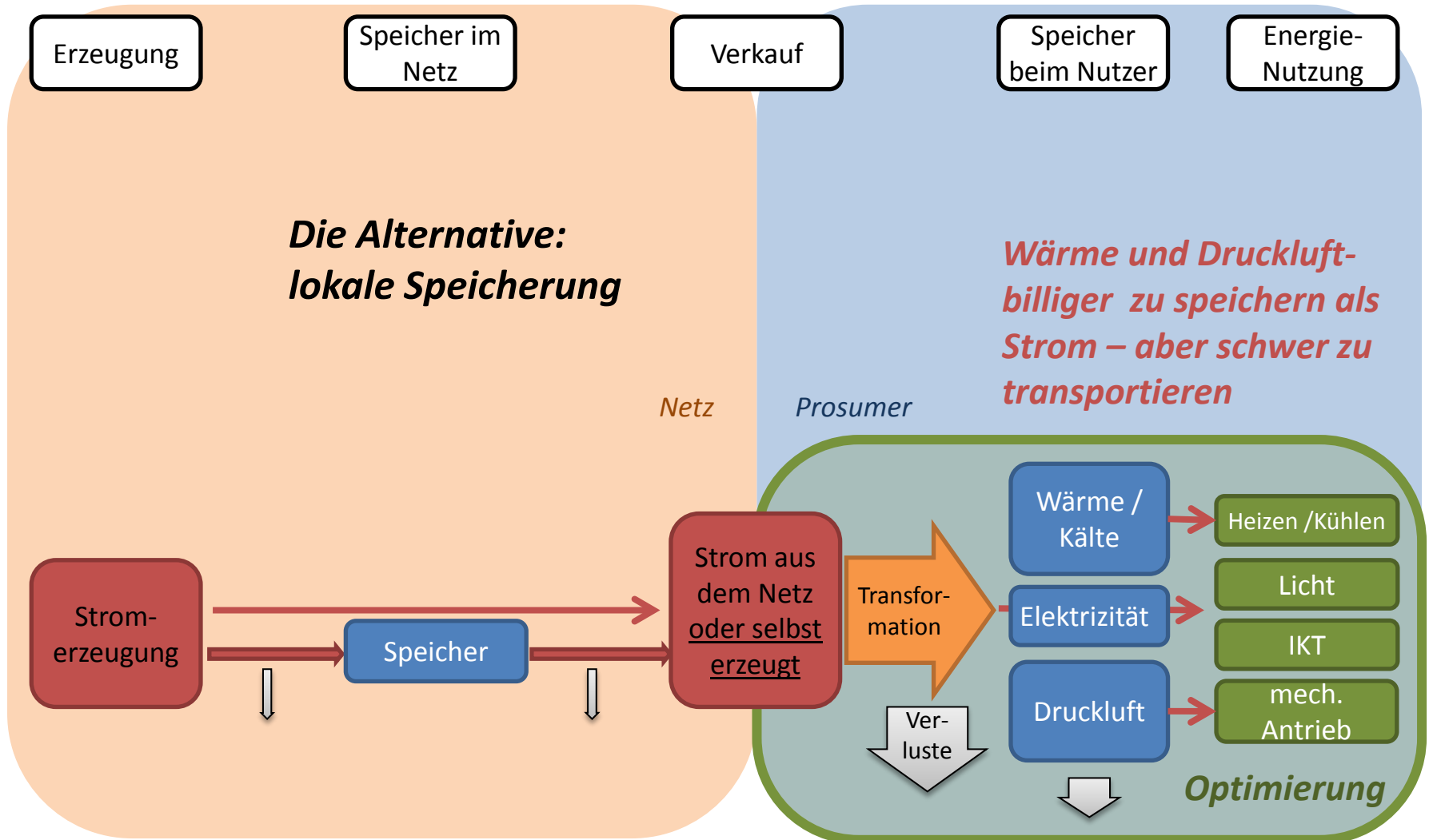


# Flexibilität durch Speicherung: Zentrale Stromspeicher haben Verluste

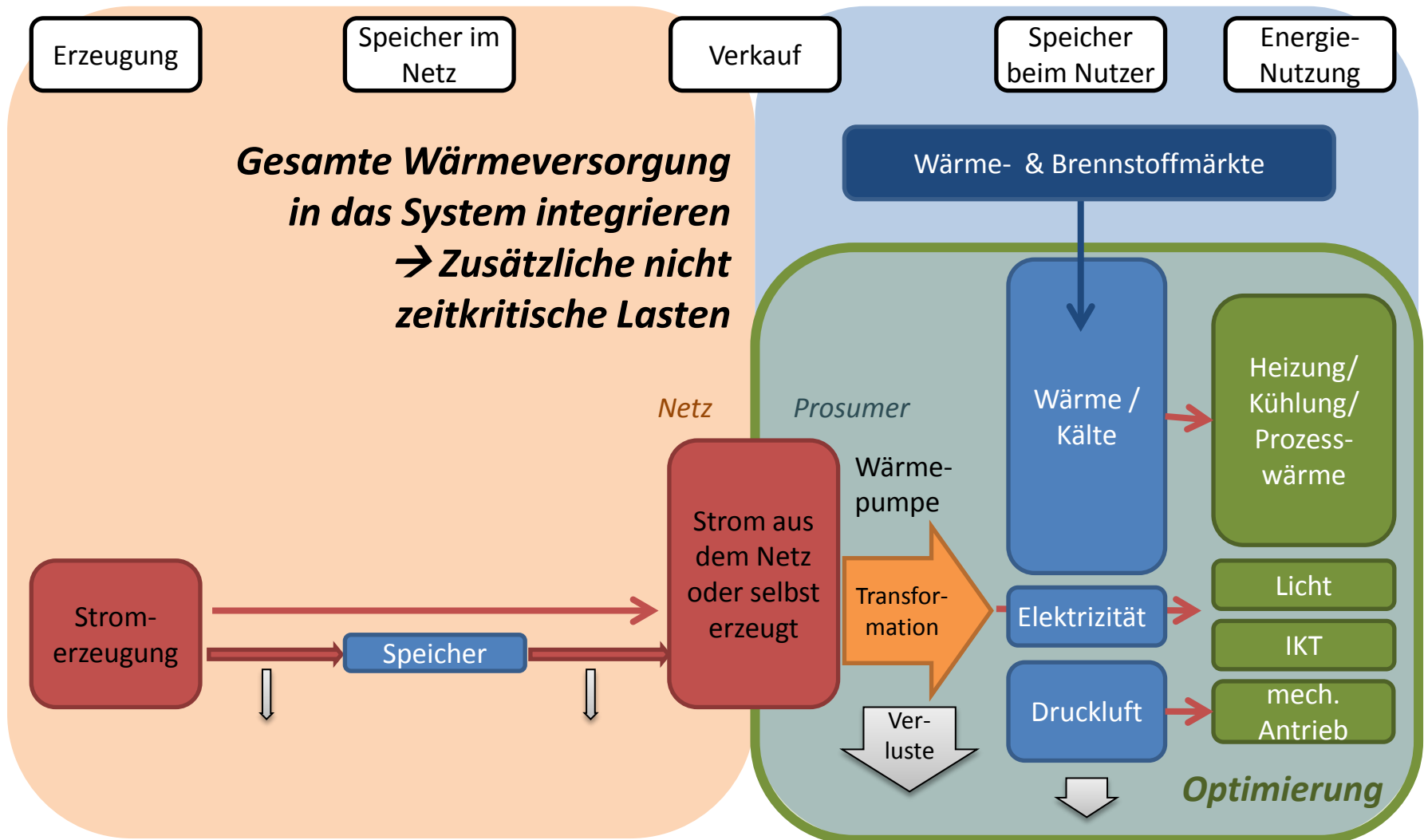


# Speicher in der Nutzungskaskade

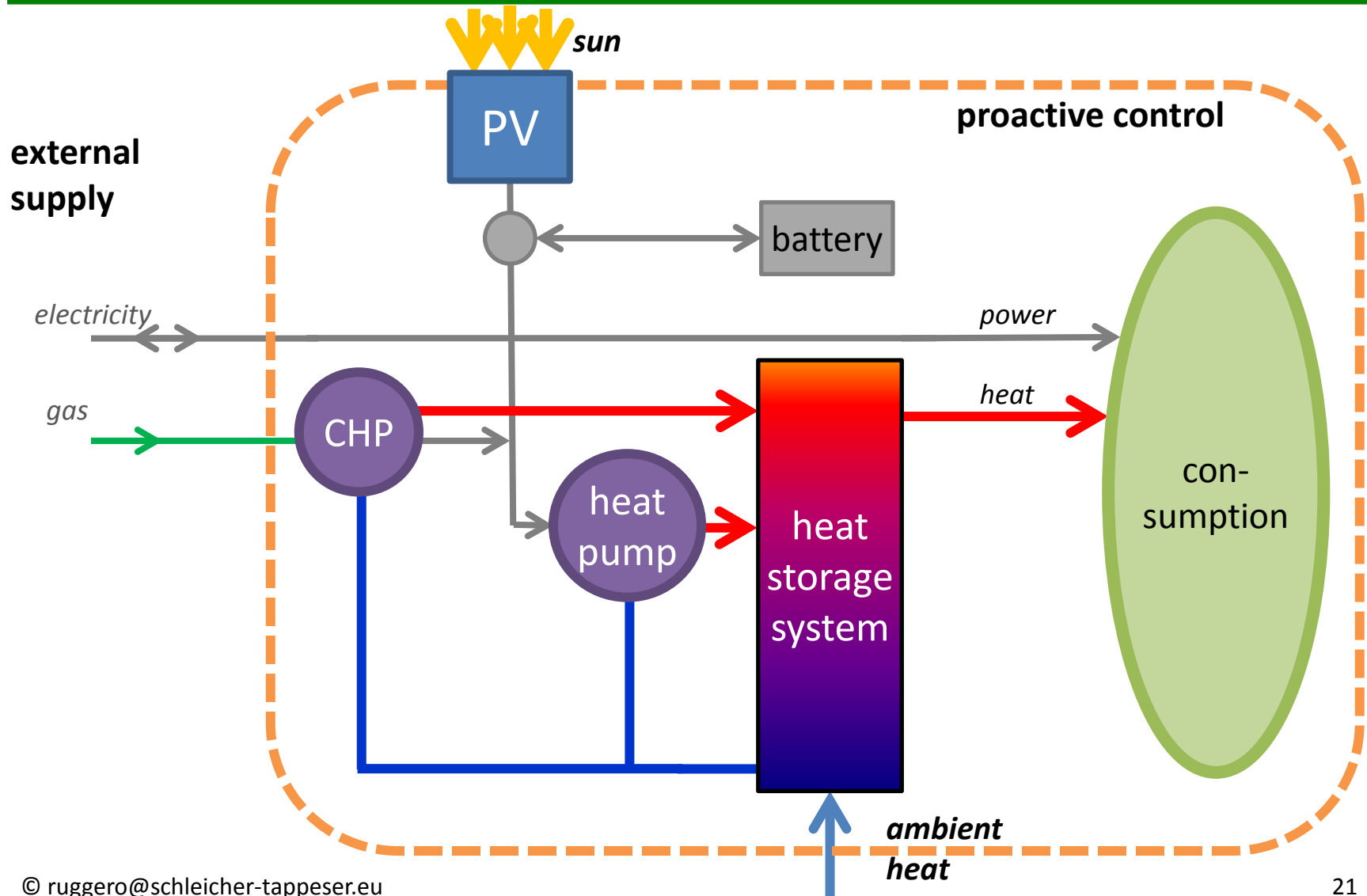
## → geringere Kosten, höhere Effizienz



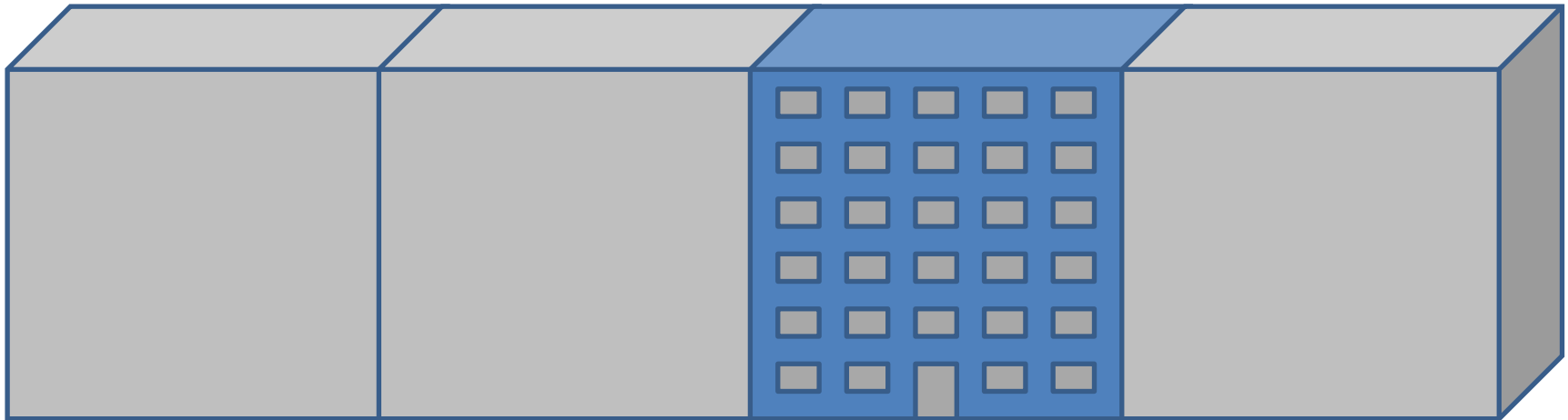
# Wärmeversorgung integrieren → sehr hohe Flexibilität



# Integrierte Wärme- und Stromversorgung für große Büro- und Wohngebäude



# Modellrechnung: 6-stöckiges Wohnhaus PV kann den Strombedarf rechnerisch decken



- Dimension: 18m breit, 10m tief, 6 Stockwerke à 3m
- **PV-Belegung: Dach flach 68%, zwei gegenüberliegende Fassaden je 50%**
- PV-Standardmodule, Berliner Strahlungswerte
- Fassaden bringen fast 60% des Stromertrags
- Ausrichtung ist nicht optimal → 70% Mehrkosten
- Durchschnittlicher deutscher Stromverbrauch (30 kWh/a /m<sup>2</sup> Wfl.)



# Eigenstromversorgung im Gewerbe nimmt Fahrt auf: Beispiele

- Umfrage der Industrie- und Handelskammern in DE: 13% der Unternehmen haben Eigenversorgung, 16% der Unternehmen planen das
- BMW baut bei Leipzig Windturbinen, 10 MW zur Versorgung von Produktionsanlagen, keine Netzeinspeisung
- Fischvermarkter in Bremerhaven erzeugt auf dem Dach ein Drittel des Stromverbrauchs seiner Kühlanlagen. Keine Netzeinspeisung.
- Dienstleister Grünstromwerk: Vermarktung von Solarstrom ohne Netzdurchleitung in der Nachbarschaft
- ALDI Süd hat mehr als hundert Filialen mit PV : Eigenverbrauch 90%, Eigenversorgung 50%
- Bisher reden die Firmen ungern öffentlich darüber: sie wollen als Pioniere die Kostenvorteile allein nutzen



# Neue Geschäftsmodelle notwendig, Kooperationen wichtig

## Sektoren

- Energieerzeugung (PV, KWK etc.)
- Steuerung / Energiemanagement
- Anlagentechnik / Produktionsprozesse
- Finanzierung

Integrierte, standardisierte Angebote  
schaffen Akzeptanz

müssen lernen,  
eng zu kooperieren

## Herausforderungen

- Hohe Investitionskosten, lange Lebensdauern
- Strukturierung der Risiken, Segmentierung der Märkte
- Entwicklung von Standards, von Stufenkonzepten
- Rollenmodelle & Kooperationen
- Neue Modelle offen diskutieren, um Marktentwicklung zu beschleunigen

Wo entstehen zuerst funktionierende Modelle in großem Ausmaß?  
In Deutschland? Italien? Spanien? der Türkei? Indien? den USA?

# Doppelter Boom zu erwarten: Eigenverbrauch & Energiemanagement

---

Attraktive Investitionen auch ohne Förderung

Perspektiven in Deutschland:

- Fängt an: Eigenstromerzeugung in Handel & Gewerbe
- In ein, zwei Jahren: Zusätzliche Investitionen für ein immer effektiveres Energiemanagement, Lernprozess

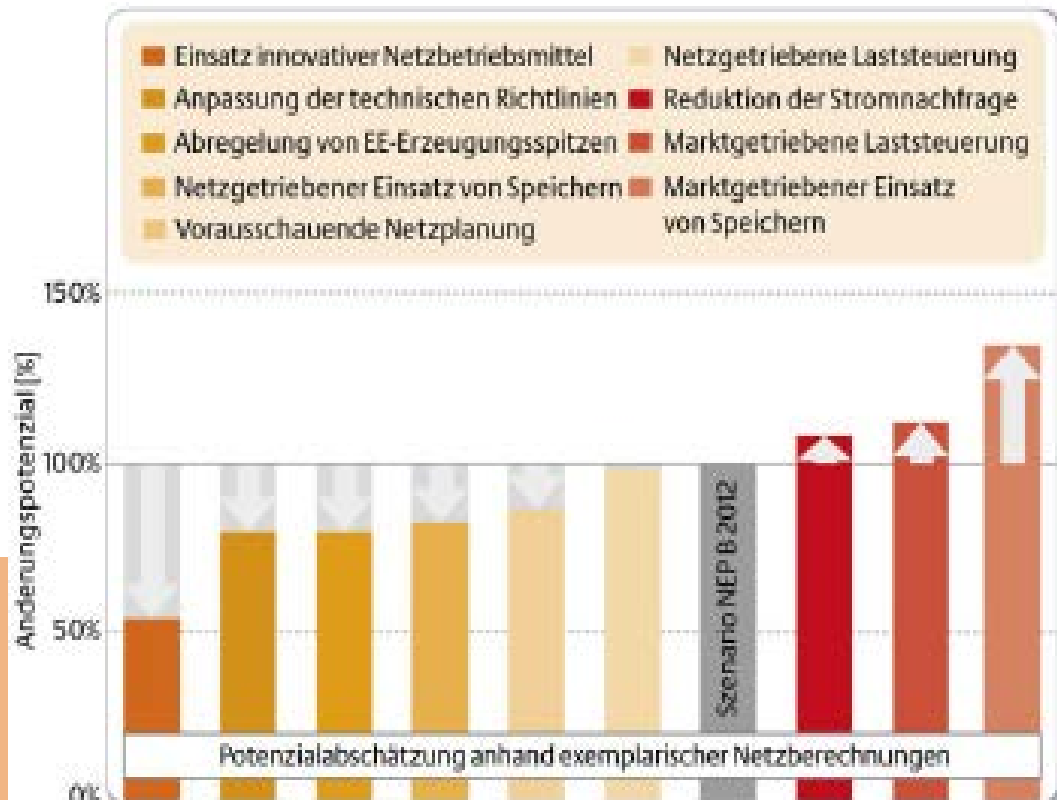
➤ Die Politik verliert die Kontrolle über den Zubau

➤ Rahmenbedingungen müssen geändert werden, um das Elektrizitätssystem stabil zu halten

**ELEKTRIZITÄTSSYSTEM BRAUCHT  
NEUE STEUERUNGSLOGIK**

# Dezentrale Einspeisung von Solarstrom erfordert Umbau der Netze

- Vor allem in ländlichen Gebieten  
Stromüberschuss bei Sonnenschein, Netze schwach
- Umkehr der Leistungsflüsse, Spannungshaltung, Leitungskapazitäten
- Dena-Studie 2013 für DE: Kosten bei konventionellem Ausbau: 40 Mrd. EUR bis 2030
- Innovative Techniken, z.B. regelbare Ortsnetztransformatoren können Kosten stark senken
- Zusätzliche Flexibilität durch Speicher und Lastmanagement erfordert Steuerung entsprechend der (ortsabhängigen) Netzauslastung

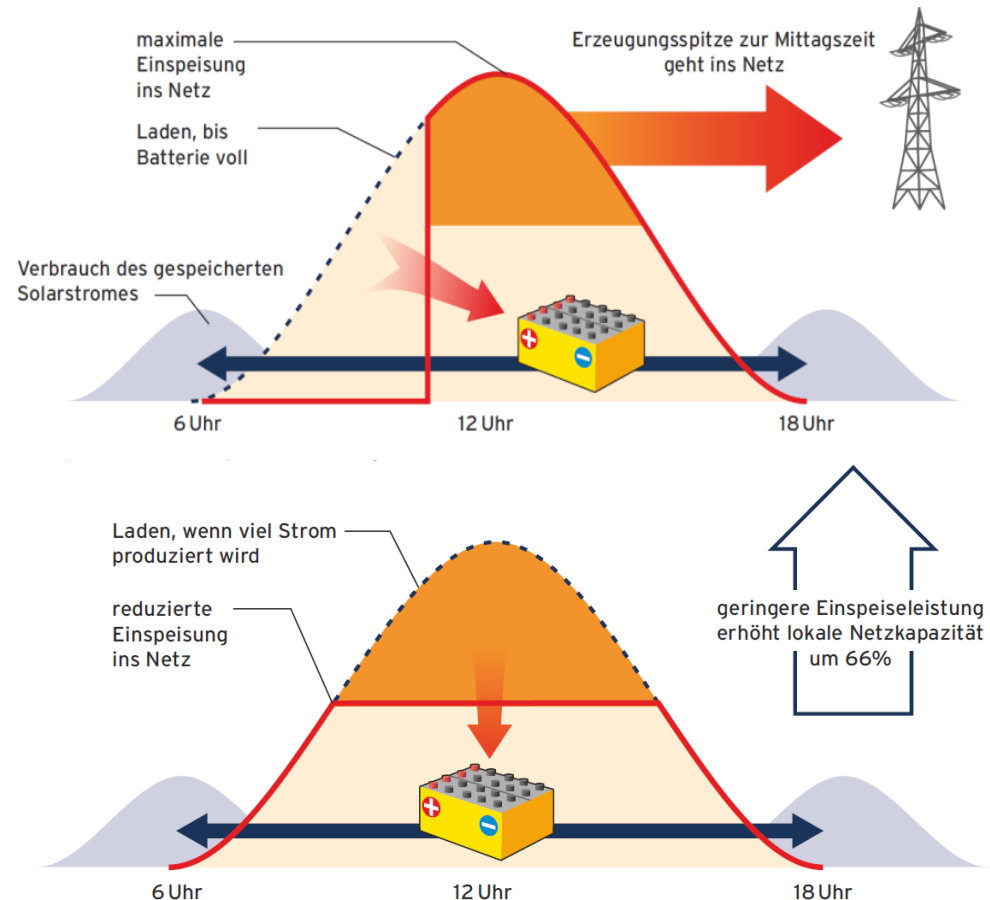


© dena 2013

# Flexibilität der Prosumer kann System destabilisieren oder stabilisieren

- Energiemanagement der Prosumer kann Netz stabilisieren oder destabilisieren
- Energiemanagement kann Belastungsspitzen in beiden Richtungen über das ganze Jahr deutlich absenken
- Bis heute fehlen dafür die Anreize, heutige Tarifstruktur fördert destabilisierendes Verhalten
- Zeitlicher Verlauf der lokalen Netzbelastung ist von lokalen Einspeisern und Verbrauchern abhängig

## Beispiel: Speichermanagement und Einspeisung



© FHG ISE / BSW

# Großes Eigenstrompotential bedroht die Finanzierung des Systems

---

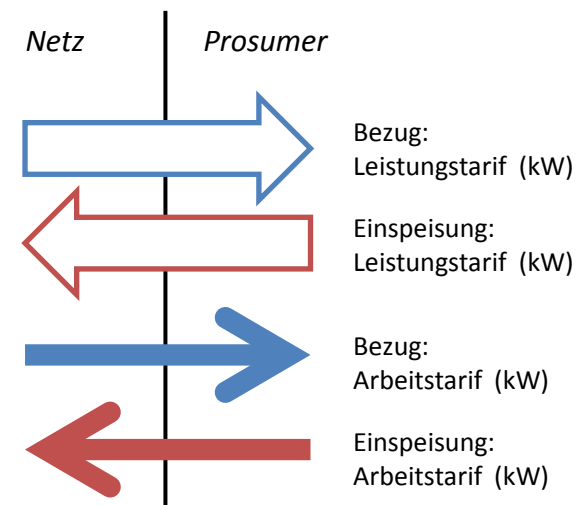
- Die als „gut geeignet“ beurteilten Dachflächen in Deutschland könnten 20% des gesamten Strombedarfs decken
  - Dazu kommt Eigenstrom aus Fassaden, gebäudenahen PV-Flächen und BHKWs
  - Andererseits wird zusätzlicher Strom für Elektromobilität und die Wärmeversorgung benötigt
  - Nur knapp die Hälfte des Stromverbrauchs fließt durch die Verteilungsnetze, der Rest geht direkt an Großabnehmer
- Aus dem Netz bezogener Strom könnte in vielen Verteilungsnetzen bald empfindlich sinken
  - Trotzdem könnten die Spitzenlasten höhere Kapazitäten erfordern als bisher – falls die Rahmenbedingungen nicht geändert werden
  - Eigenversorger zahlen zu wenig für die beanspruchten Reservekapazitäten
  - Den übrig bleibenden „normalen“ Stromkunden drohen hohe Kosten



# Eigenversorgung erzwingt Änderung von Steuerungslogik und Marktarchitektur

- Boom der Eigenstromproduktion lässt sich nur mit massiven dirigistischen Eingriffen verhindern
- Prosumer schaffen aus Eigeninteresse Flexibilität mit lokalen Speichern und Lastmanagement
- Neue Rahmenbedingungen müssen
  - Partielle Eigenversorger angemessen an den Systemkosten beteiligen
  - die Flexibilität der Prosumer für Systemoptimierung und -stabilität nutzen
- Harten Steuerungseingriffen in den Privatbereich sind flexible Tarifsignale für den Austausch mit dem Netz vorzuziehen

• Um das Netz optimal auszulasten, müssen Tarife sowohl zeit- als auch ortsabhängig sein



# Teilweise Verlagerung der Systemverantwortung auf untere Systemebenen → Mehrebenensystem

- Heutiges Elektrizitätssystem:
  - engpassfreie Netze innerhalb der Regelzonen (i.d.R. eine pro Land)
  - Zentrale Steuerung der Kraftwerke in Abhängigkeit vom Verbrauch
- Mehr Flexibilität mit dezentralen Speichern und Lastmanagement
  - ersetzen engpassfreien Netzausbau
  - gezieltes Management von lokalen Engpässen
  - Verlagerung von Systemverantwortung – „aktive Verteilnetze“
  - Lokaler Ausgleich wird wieder interessant. VDE: „zelluläre Strukturen“
- Lokale/ regionale Strommärkte für mehrdimensionale Optimierung?
  - könnten Tarifsignale für die flexiblen Netznutzer liefern
  - Werden von der dänischen Elektrizitätswirtschaft gefordert
  - Wurden in Smart-Grid-Pilotprojekten in verschiedenen Formen erprobt
- Mehrebenensystem: Subsidiärer Systemaufbau in drei Dimensionen – Technik, Marktarchitektur, Regulierung

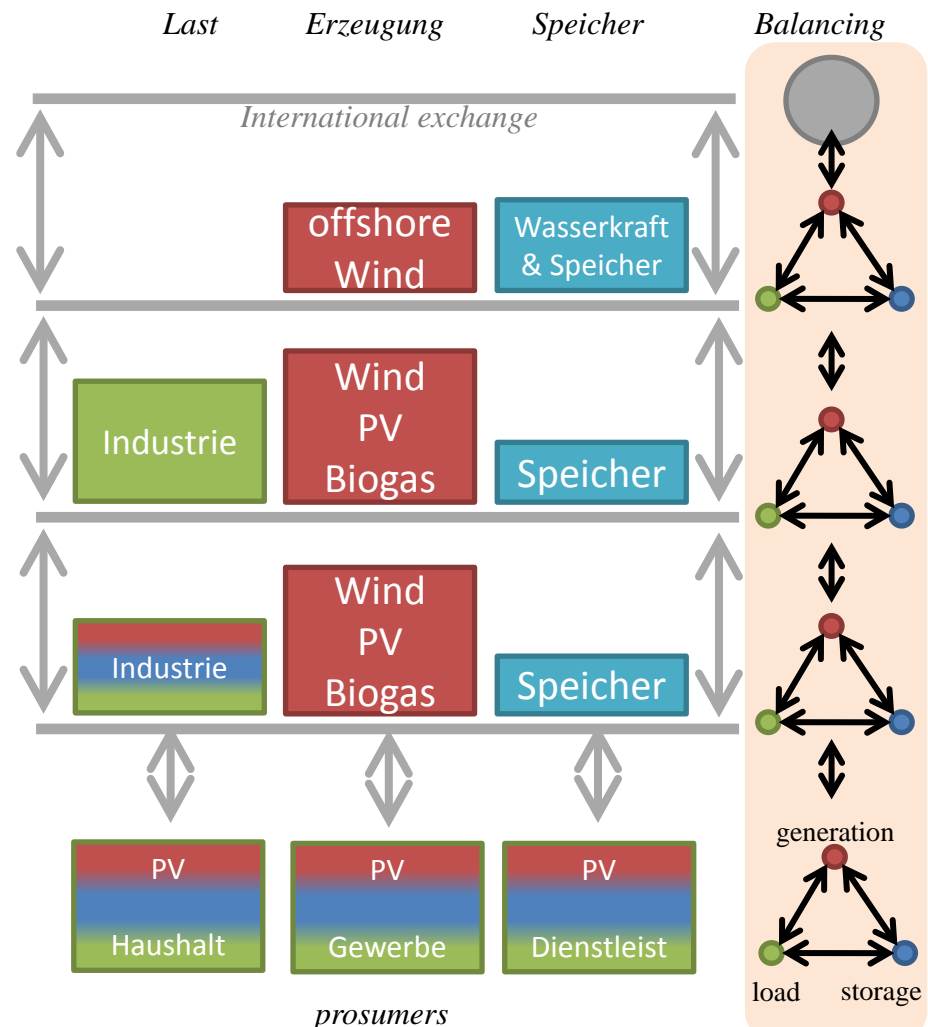
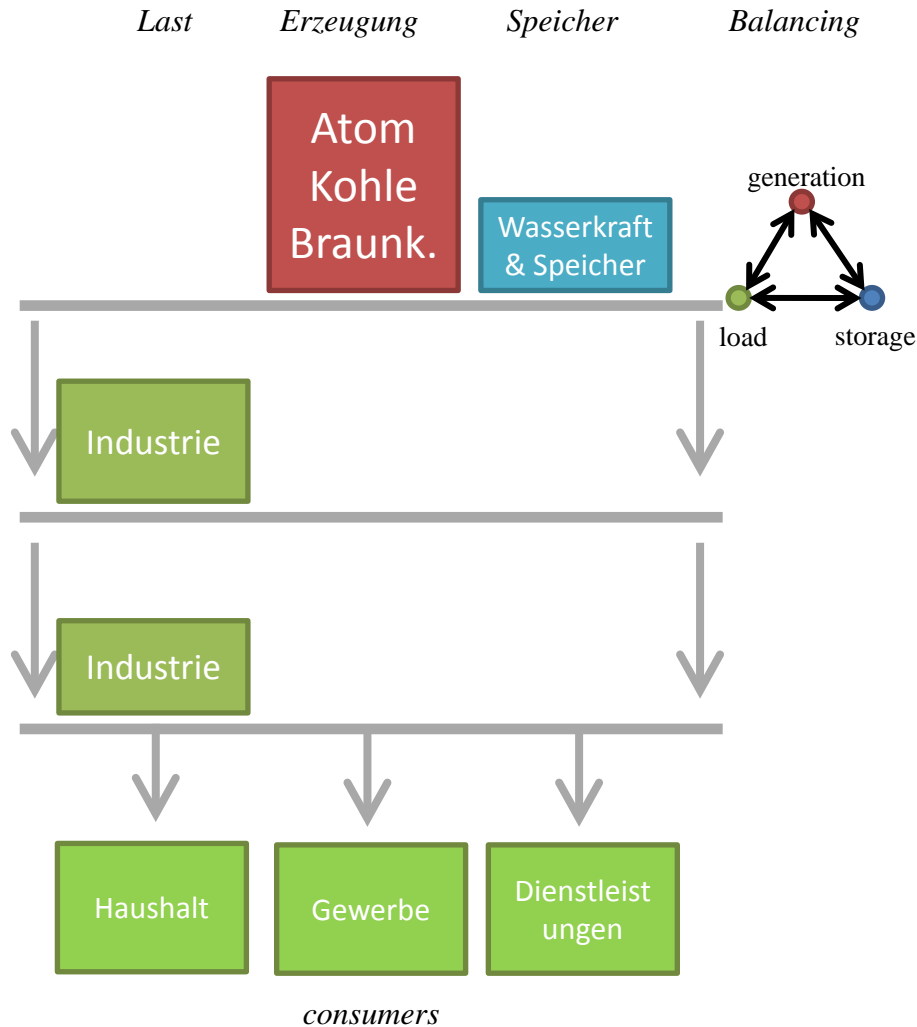
# Top-down Versorgungssystem

zentrale Steuerung



# Mehrebenen-Austauschsystem

Subsidiarität, gemeinsame Verantwortung



# Navigieren in einer turbulenten Transformation

---

- Die Herausforderung der Eigenversorgung annehmen und das Elektrizitätssystem entsprechend dem Prinzip der Subsidiarität organisieren – verantwortliche Systemkoordination auf mehreren Ebenen einrichten
- Weitreichende Transparenz gewährleisten in Bezug auf Infrastrukturen, die natürliche Monopole darstellen
- Für komplexe Optimierungsaufgaben auf jeder Ebene Marktmechanismen nutzen
- Stetige Entwicklungen und verlässliche Rahmenbedingungen anstreben, unterschiedliche Lebensdauern von Investitionen berücksichtigen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dokumentation auf  
[www.sustainablestrategies.eu](http://www.sustainablestrategies.eu)

Ruggero Schleicher-Tappeser

# Potentiale der Lastverschiebung

## Anteile am Stromverbrauch 2008

	Wärme	Kälte	Mech. Antrieb	IKT	Beleuch- tung	Summe
Industrie	7,9%	1,9%	30,6%	1,8%	2,1%	44,4%
Gewerbe, Handel, DL	3,5%	2,1%	5,7%	3,9%	10,6%	25,9%
Haushalte	13,7%	5,3%	0,6%	4,6%	2,3%	26,6%
Verkehr	0,2%	0,0%	2,7%	0,2%	0,2%	3,1%
GESAMT	25,3%	9,4%	39,6%	10,5%	15,2%	100,0%

Potentiale variieren beim Gewerbe stark, je nach Betrieb