Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.
International Solar Energy Society, German Section

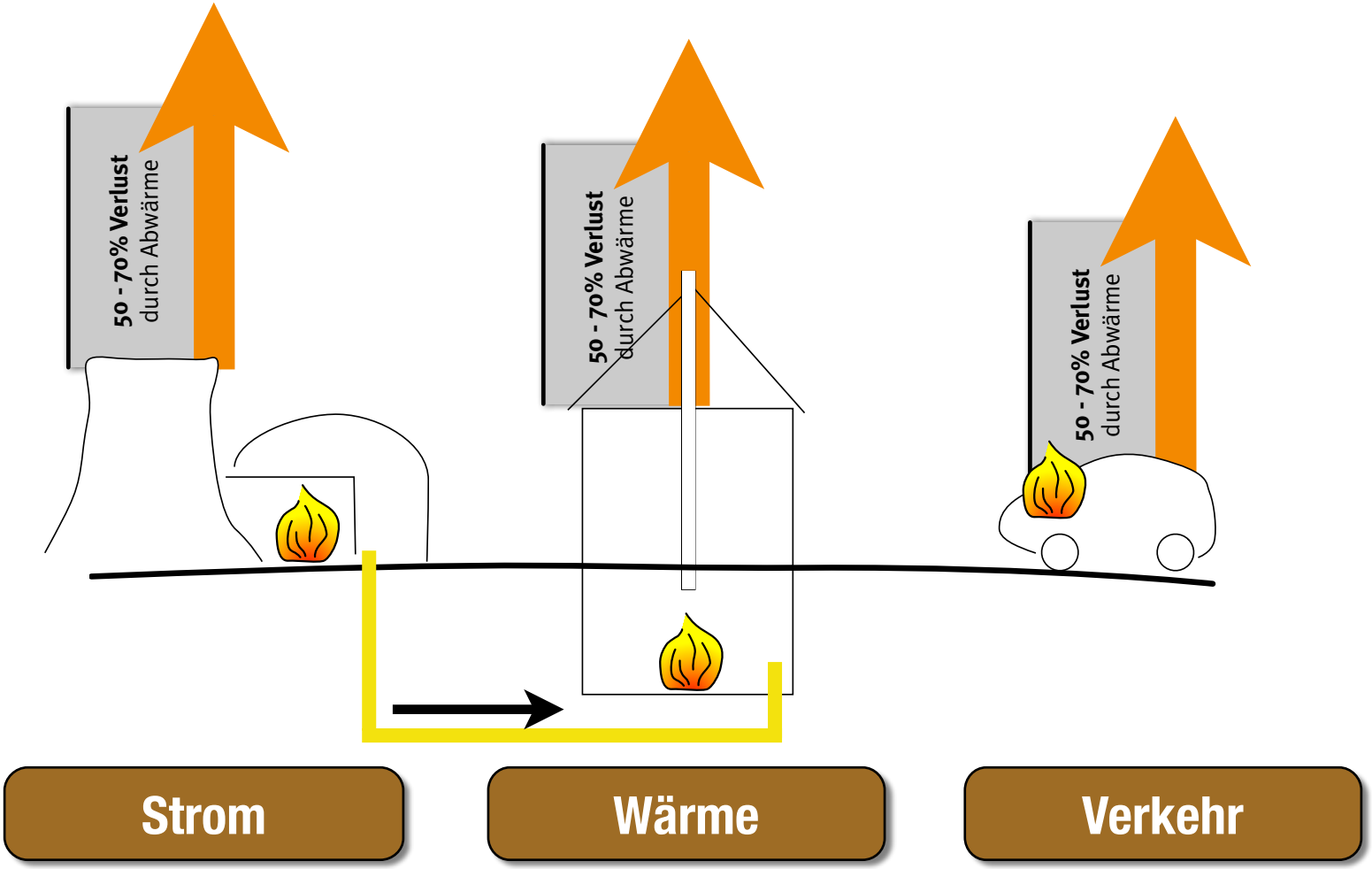
Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

Tomi Engel

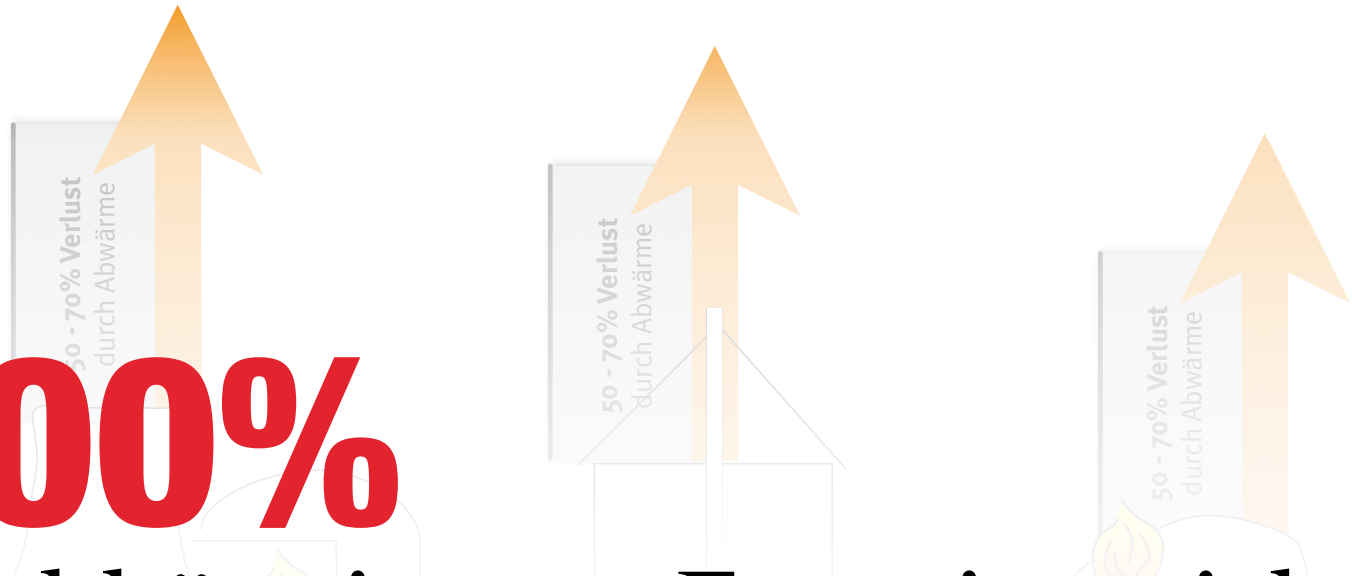
Schönau – 16.05.2015

Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

Fossile Struktur – 3 Sektoren



Fossile Struktur – 3 Sektoren



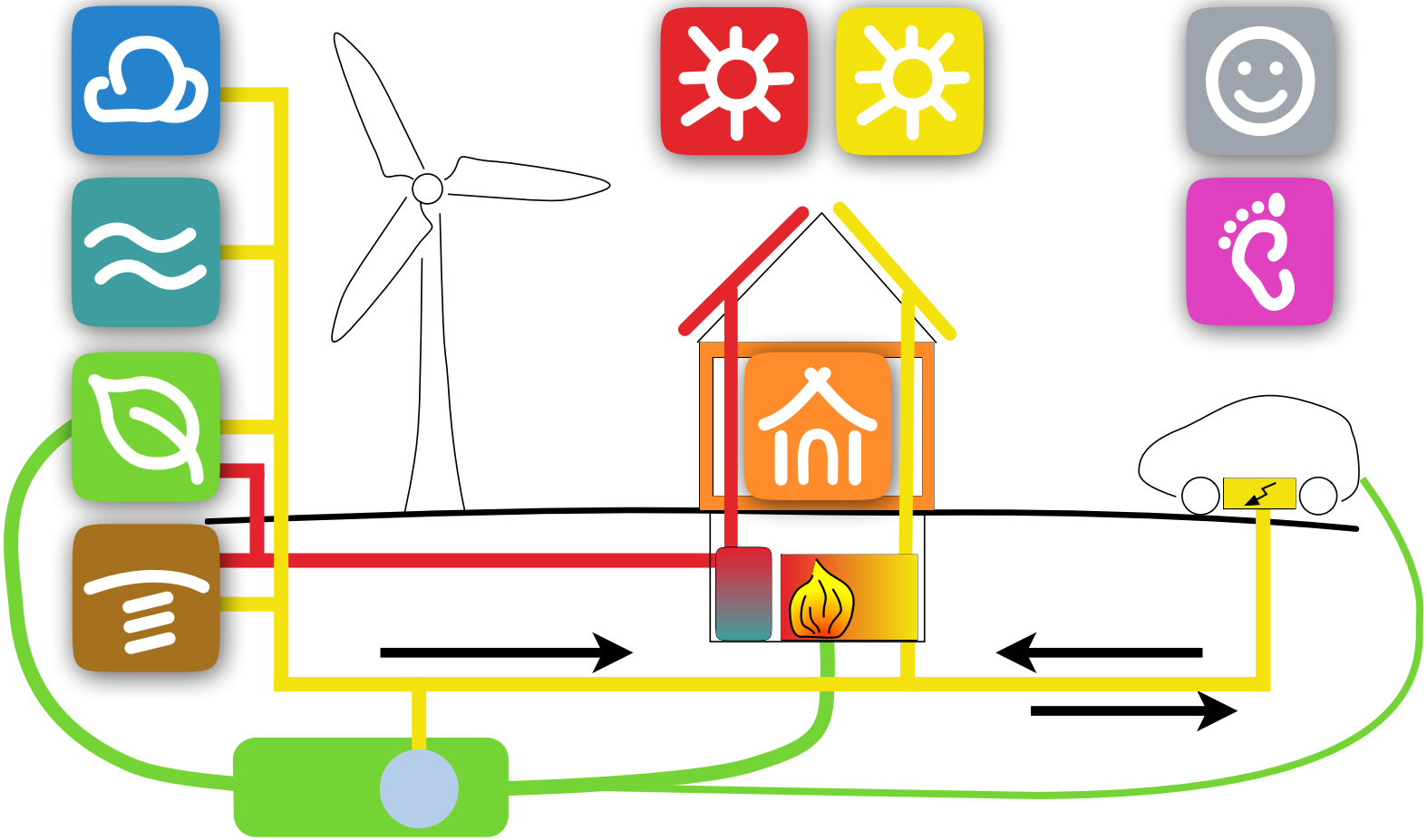
100%

abhängig von Energiespeichern

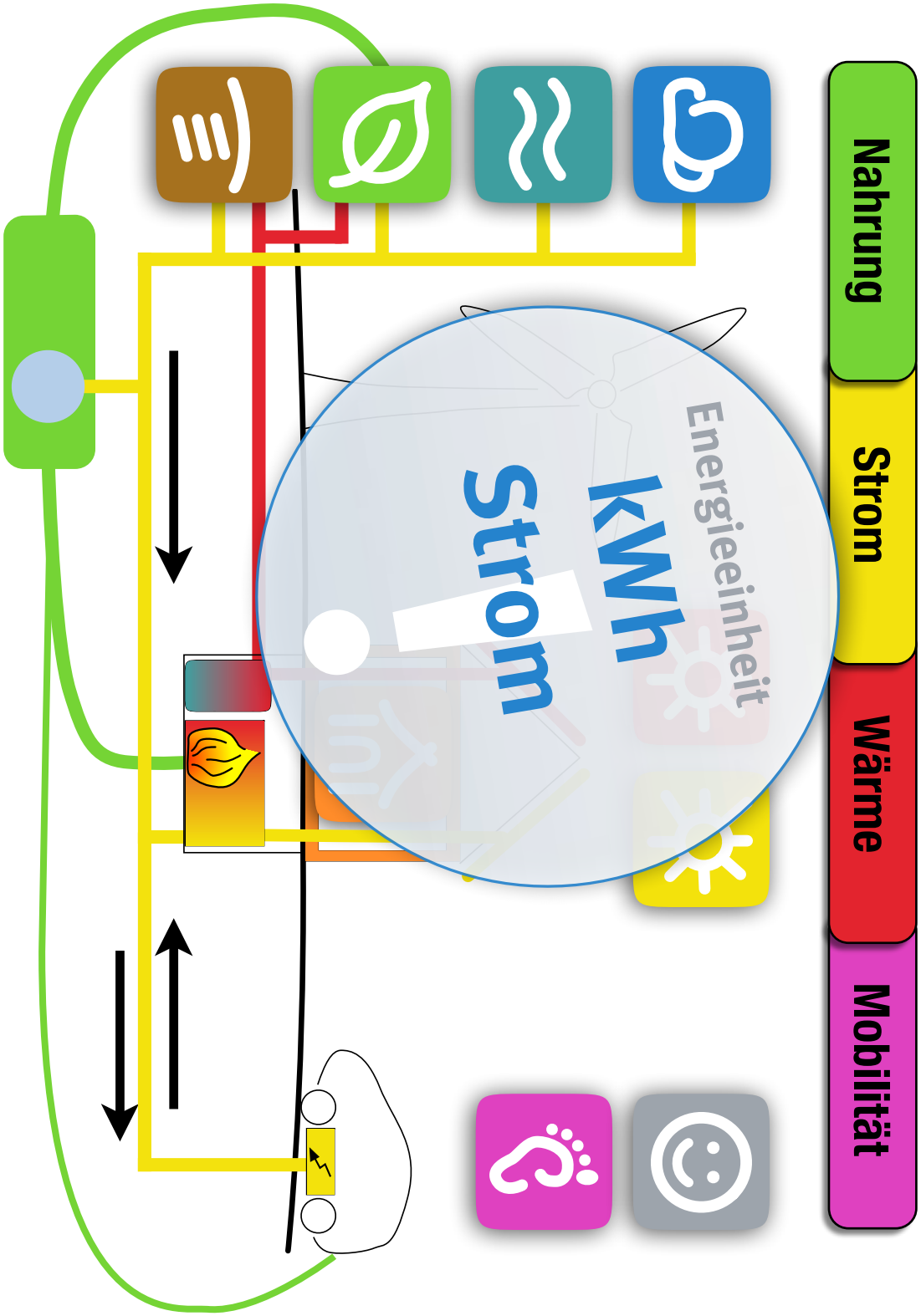
... die auch noch meist in fremden Ländern liegen.

Strom | **Wärme** | **Verkehr**

Solare Struktur ... Dezentrale Netzwerke

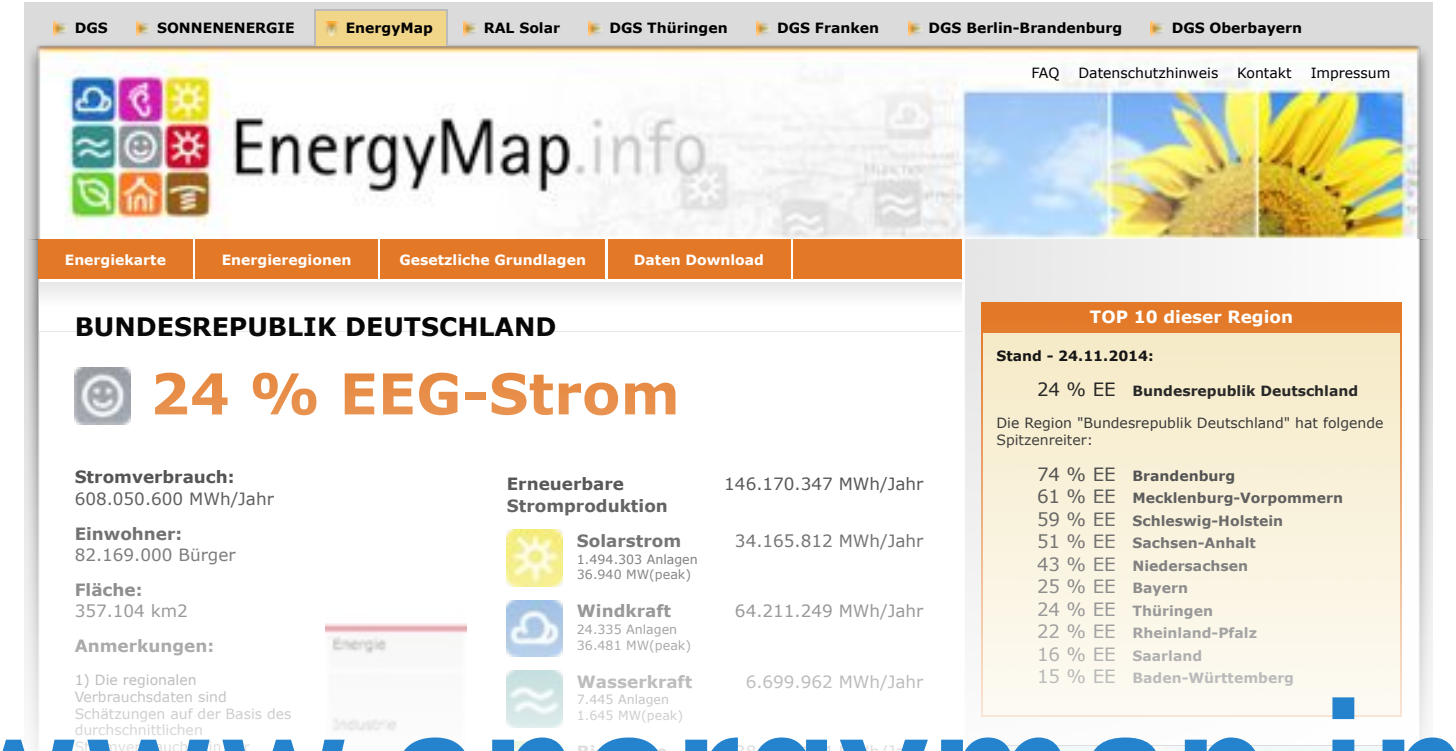


Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher



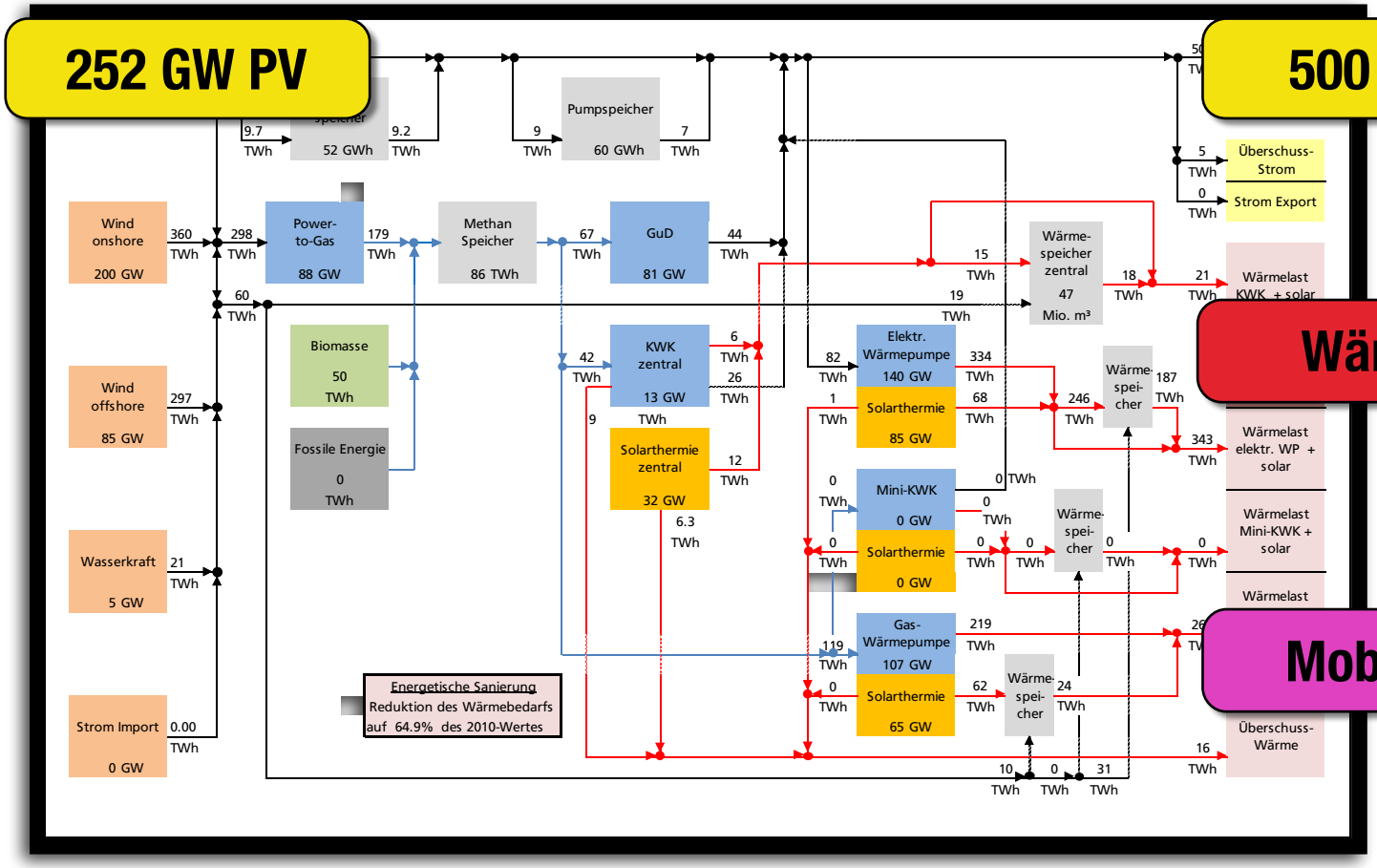
Wo steht Deutschland?

24.11.2014



www.energymap.info

EE-Erzeugungsleistung ... 100% Hochrechnungen



leichter Rückgang

Einsparungen von 35%

0%

... wird nicht berücksichtigt

Quelle: 100% Studie des Fraunhofer ISE - November 2012 - Szenario REMax

Speicherbar

Nicht-Speicherbar

Lastausgleich

a : d : h : m : s

Jahre/Monate | Tage | Stunden | Minuten | (Milli-)Sekunden

Lastausgleich

Sommer

Winter

Tag

Nacht

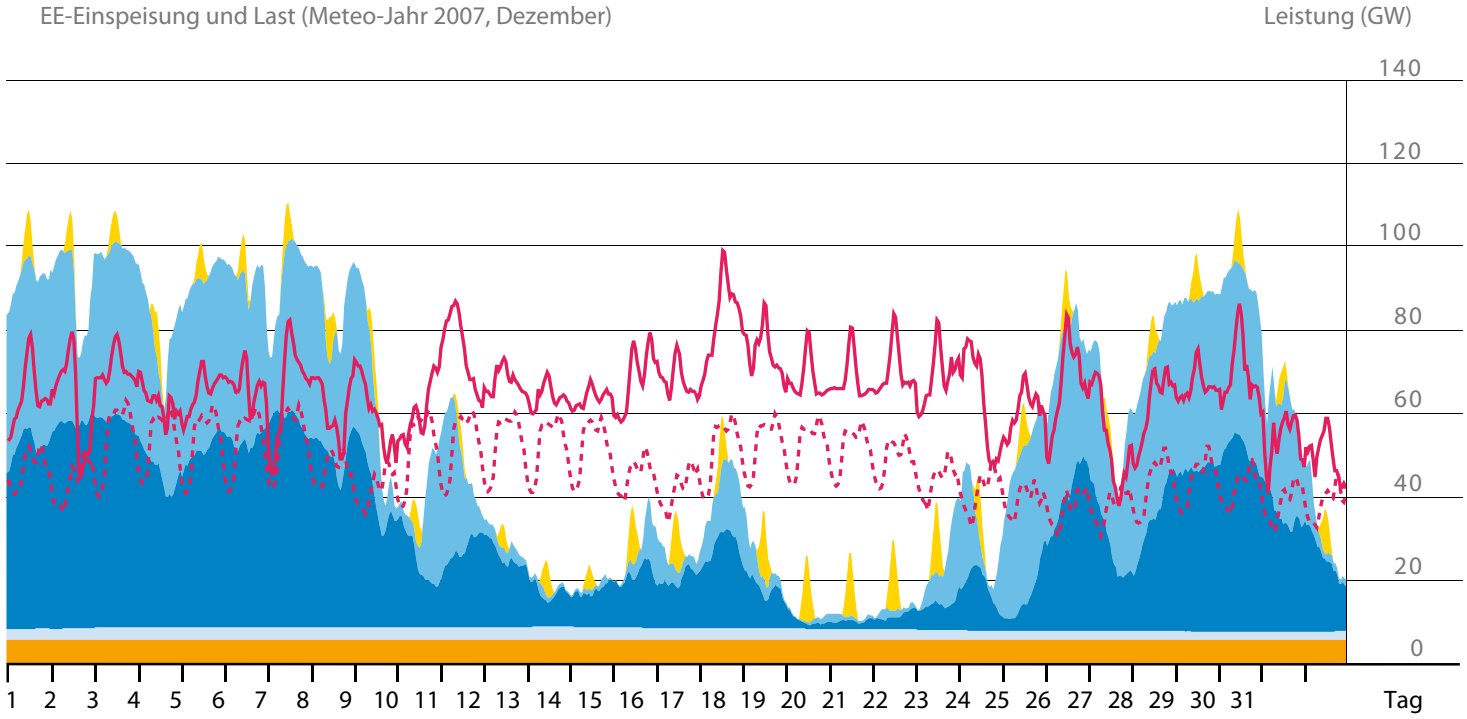
Flaute

Sturm

Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

a : d : h : m : s

EE-Einspeisung und Last (Meteo-Jahr 2007, Dezember)



Geothermie | Laufwasser | Onshore-Wind | Offshore-Wind | Photovoltaik

Basislast | Gesamtlast mit Lastmanagement

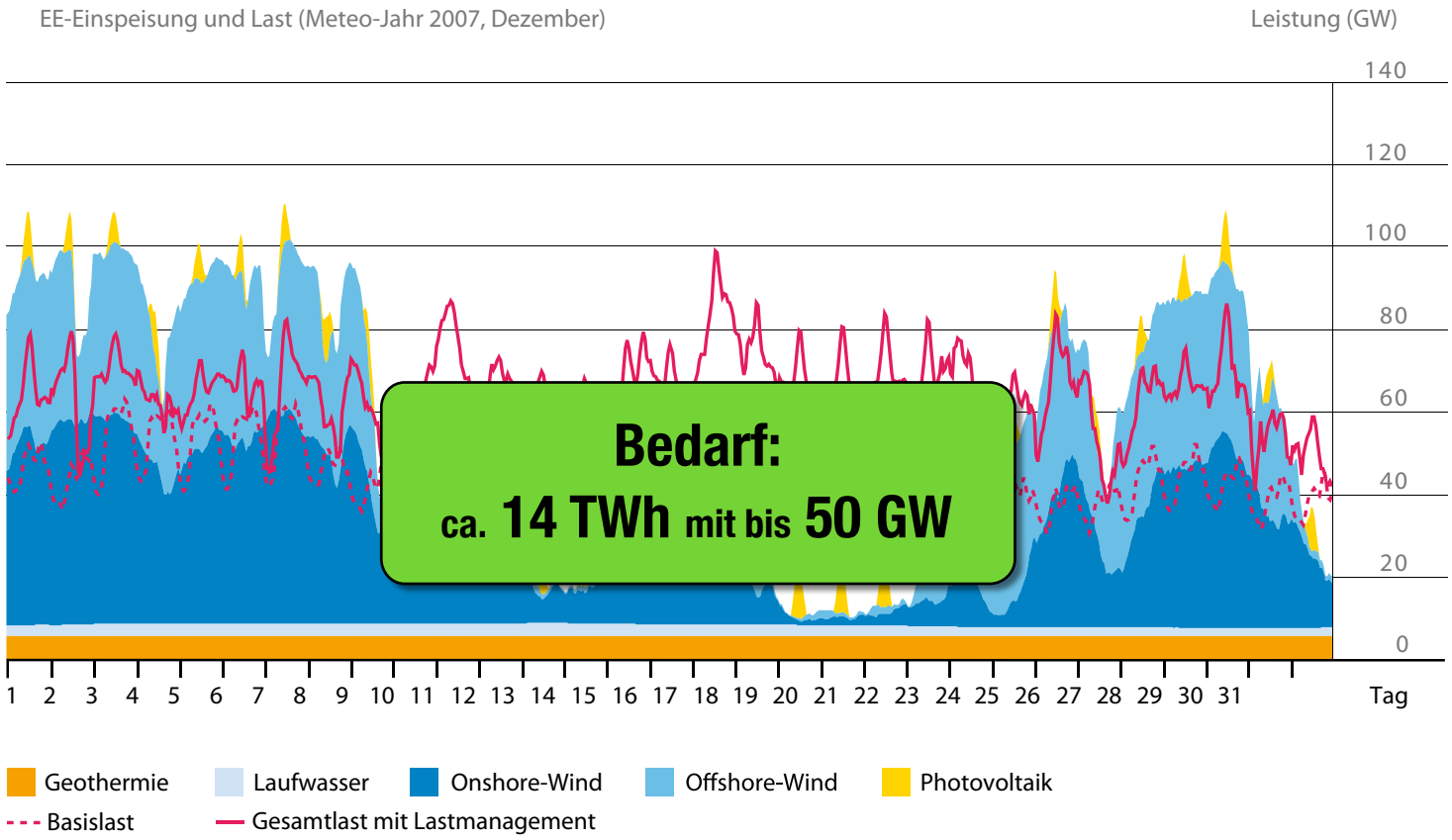
Quelle: UBA Studie "100% EE - 2050" - FhG IWES - 2010

Tomi Engel – Fachausschuss "Solare Mobilität"

DGS

Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

a : d : h : m : s



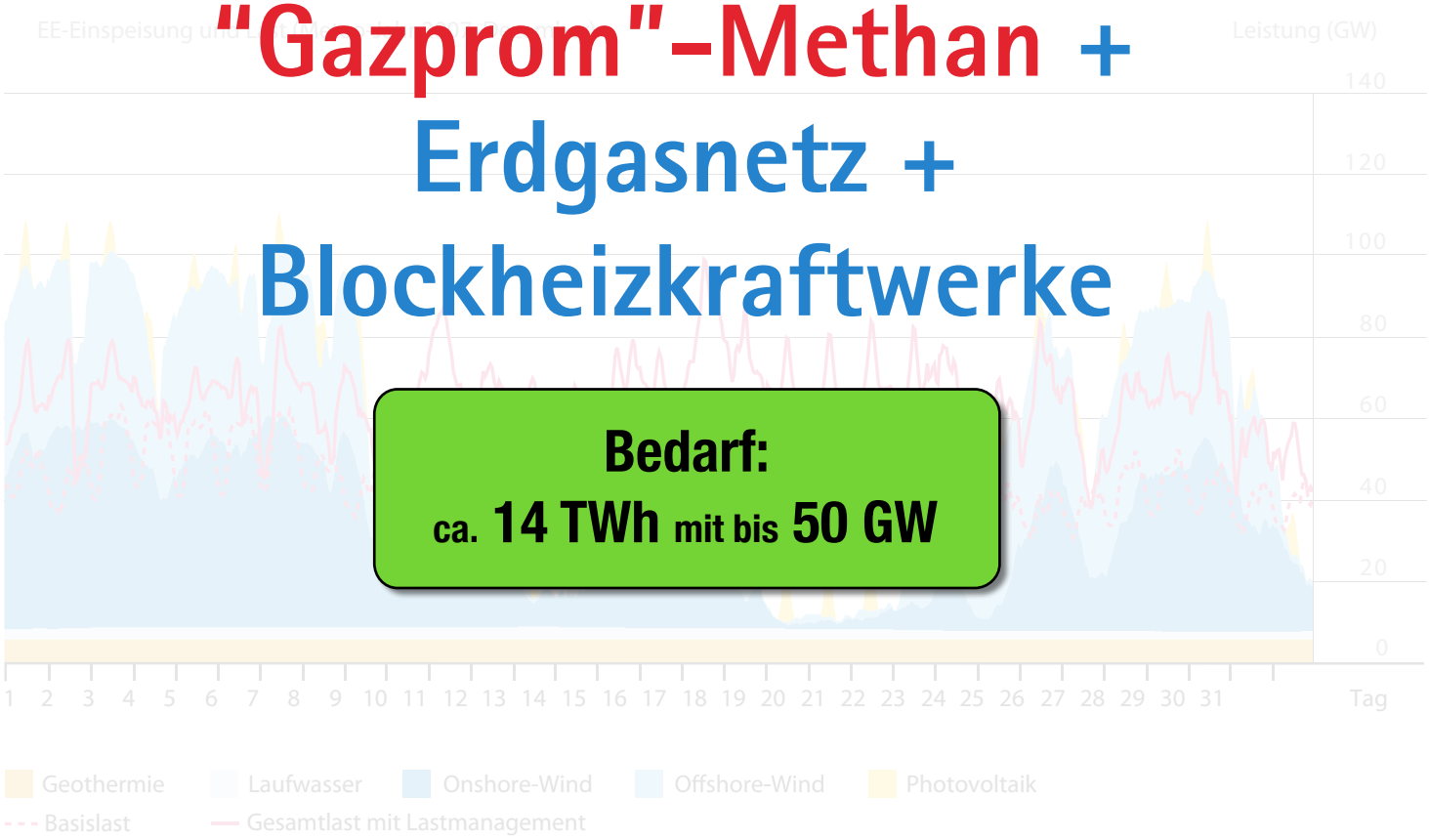
DGS

Tomi Engel – Fachausschuss "Solare Mobilität"

Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

a : d : h : m : s

"Gazprom"–Methan + Erdgasnetz + Blockheizkraftwerke

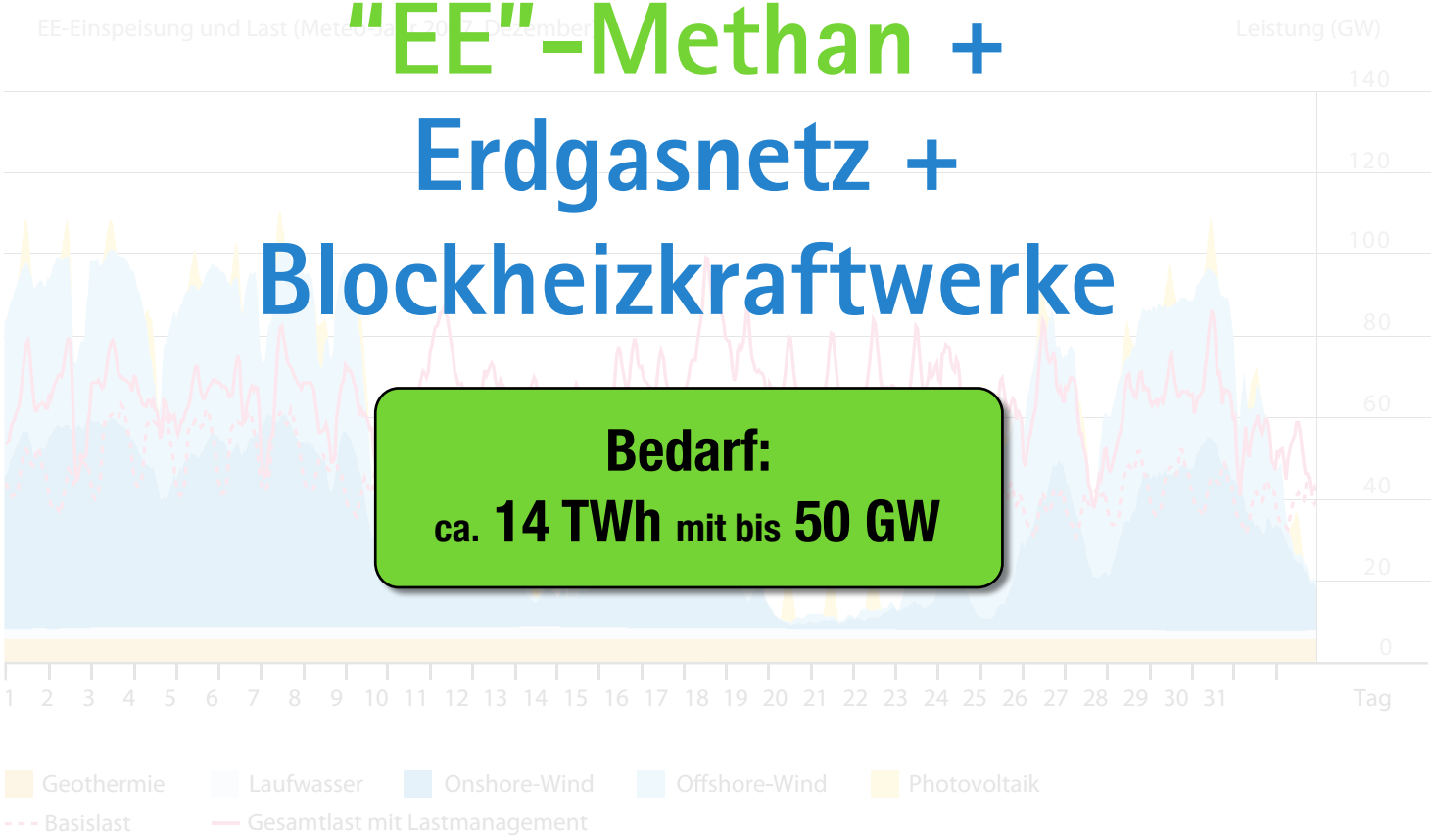


Bedarf:
ca. 14 TWh mit bis 50 GW

Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

a : d : h : m : s

"EE"-Methan + Erdgasnetz + Blockheizkraftwerke



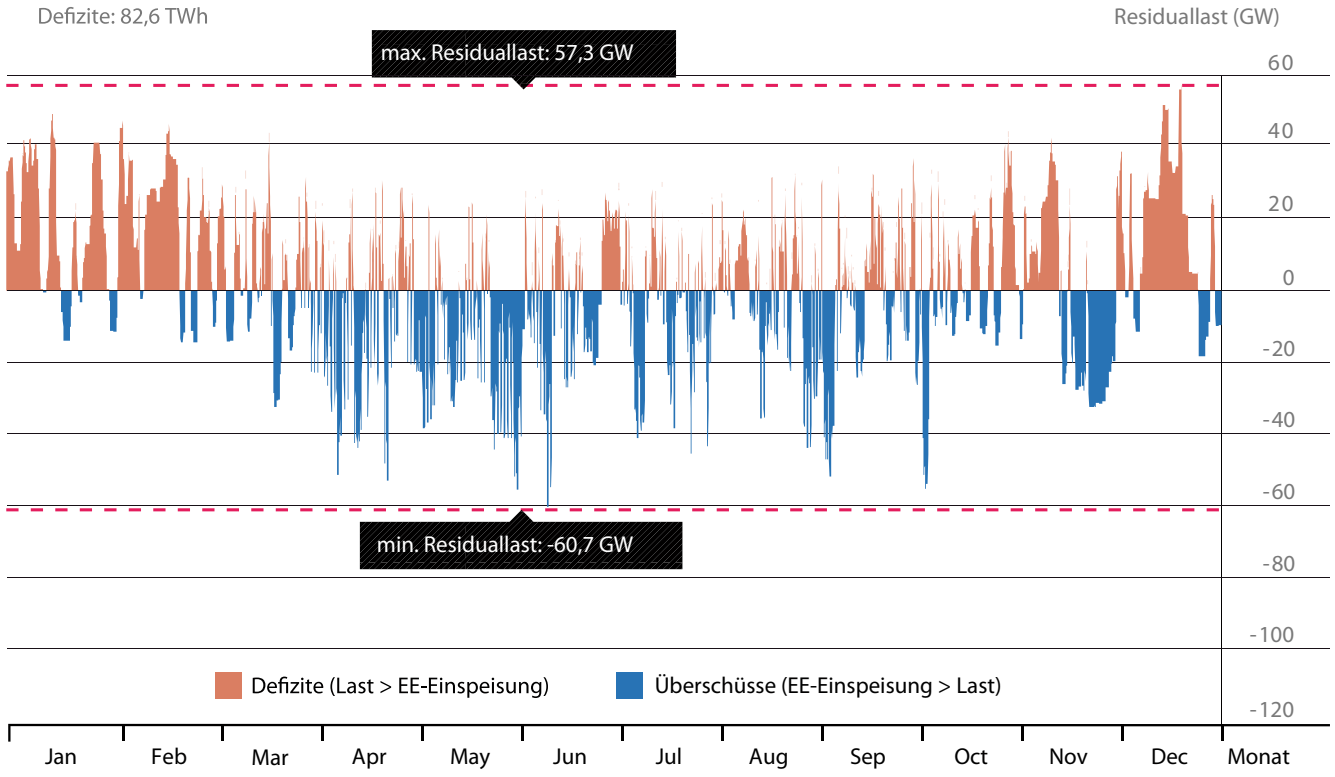
Bedarf:
ca. 14 TWh mit bis 50 GW

Wasserkraft in der Energiewende

a : d : h : m : s

Residuallast mit allen Verbrauchern und Lastmanagement, nach PSW (Meteo-Jahr 2009)

Überschüsse: -78,5 TWh
Defizite: 82,6 TWh



Quelle: UBA Studie "100% EE - 2050" - FhG IWES - 2010

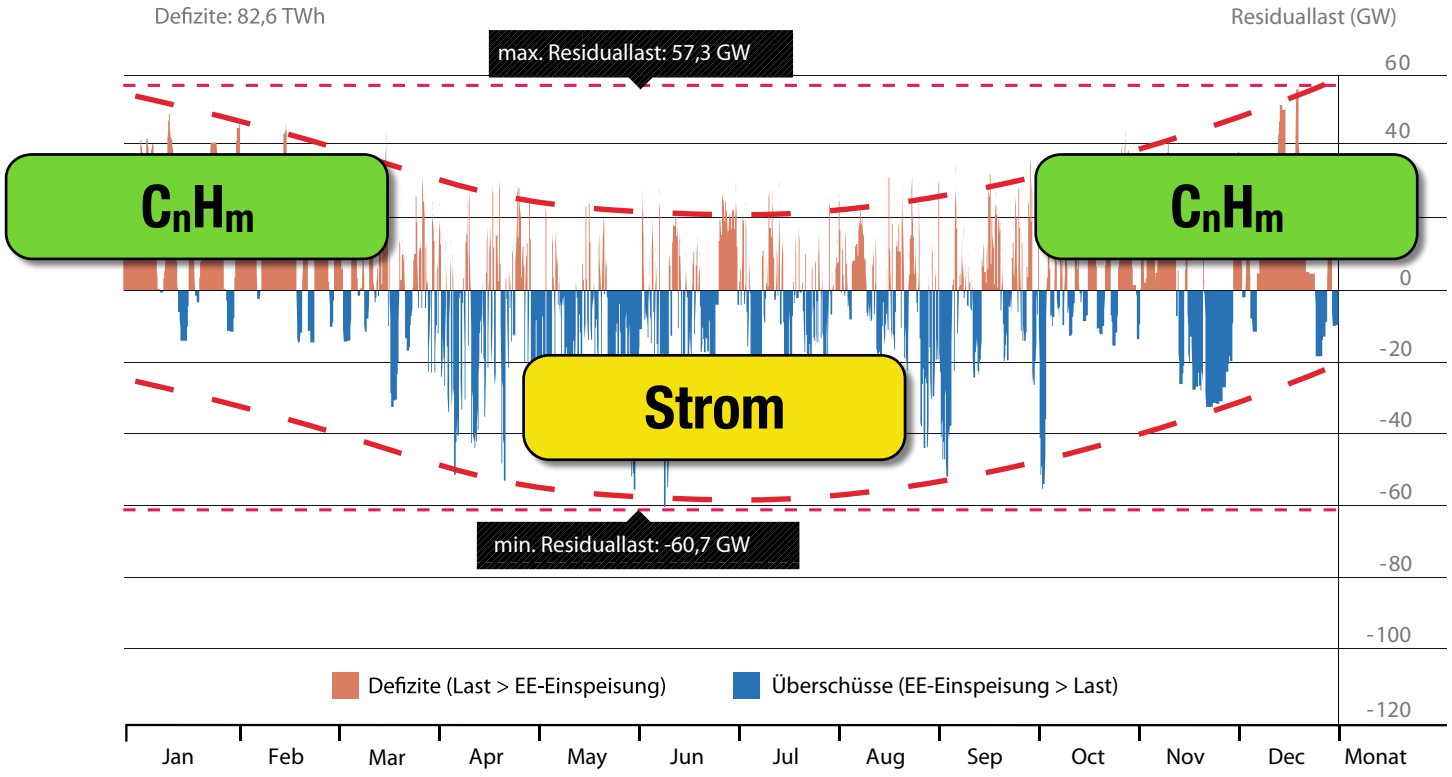
Tomi Engel – Fachausschuss "Solare Mobilität"

Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

a : d : h : m : s

Residuallast mit allen Verbrauchern und Lastmanagement, nach PSW (Meteo-Jahr 2009)

Überschüsse: -78,5 TWh
Defizite: 82,6 TWh

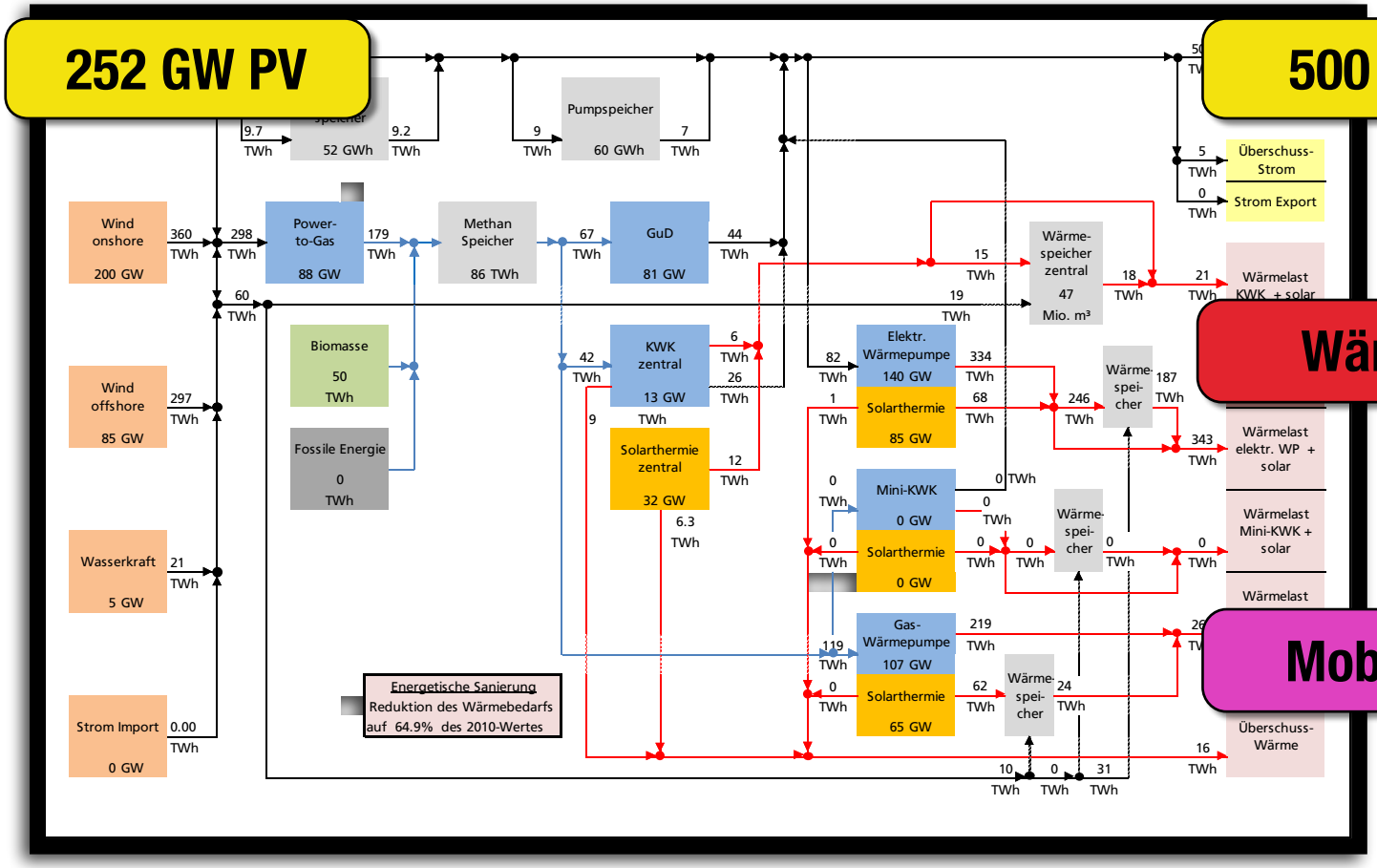


Quelle: UBA Studie "100% EE - 2050" - FhG IWES - 2010

DGS

Tomi Engel – Fachausschuss "Solare Mobilität"

EE-Erzeugungsleistung ... 100% Hochrechnungen



leichter Rückgang

Einsparungen von 35%

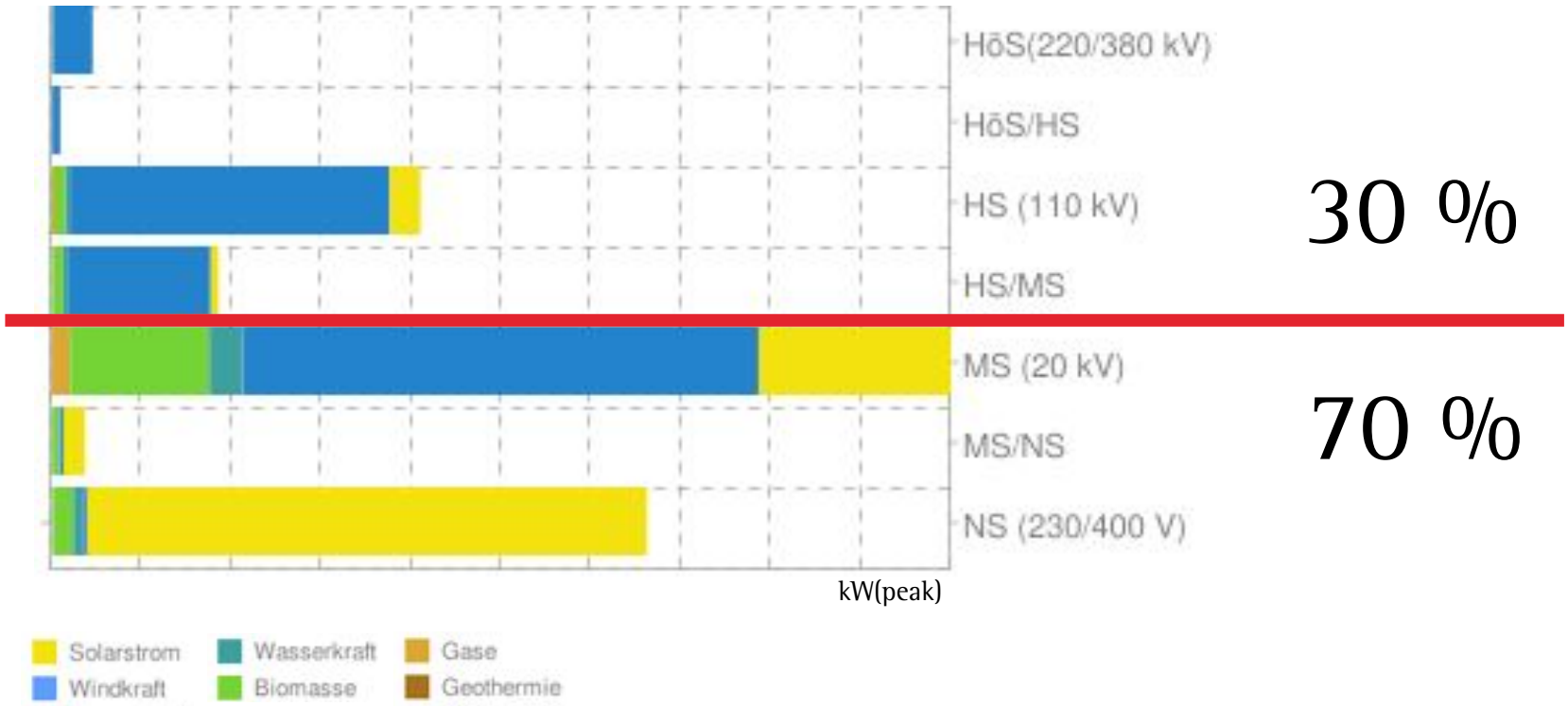
0%

... wird nicht berücksichtigt

Quelle: 100% Studie des Fraunhofer ISE - November 2012 - Szenario REMax

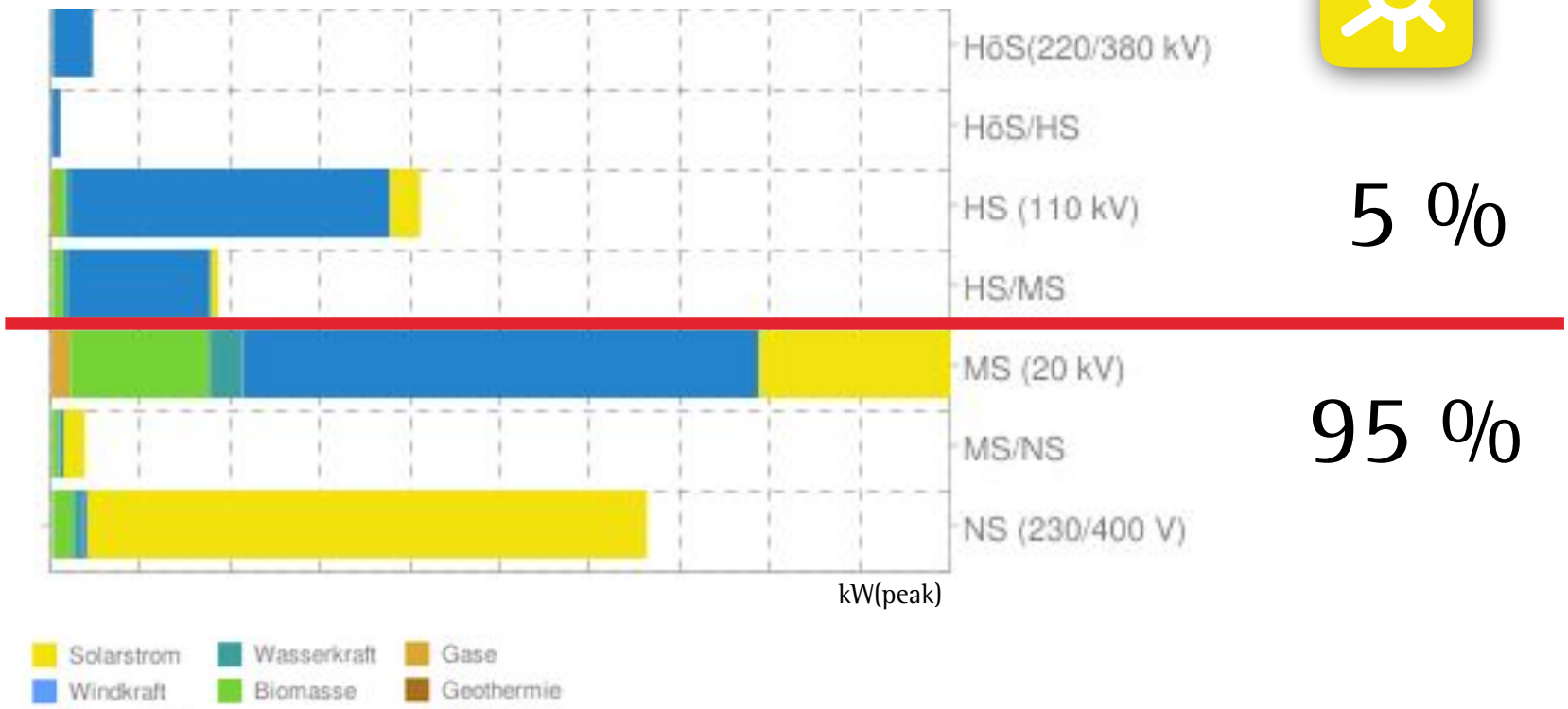
Strom

1,45 Mio. dezentrale Kraftwerke



Strom

1,45 Mio. dezentrale Kraftwerke

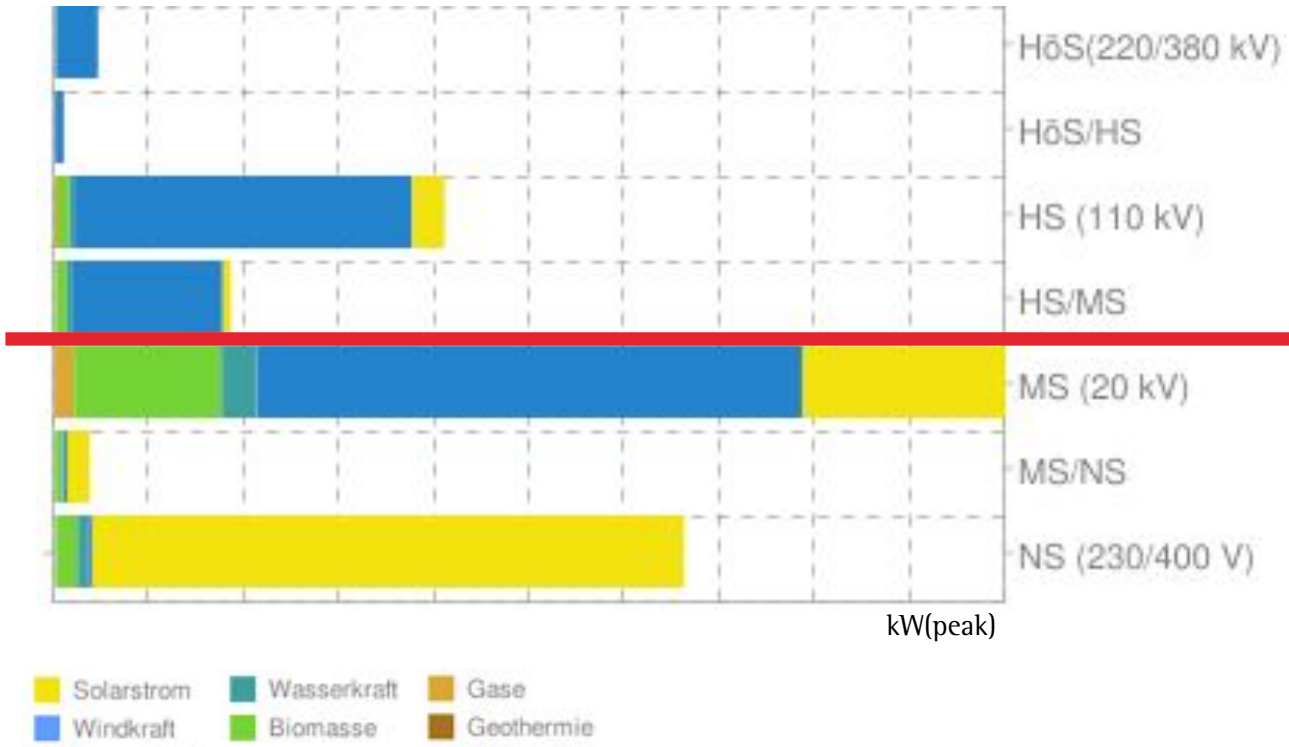


5 %

95 %

250 bis 500? GW Photovoltaik

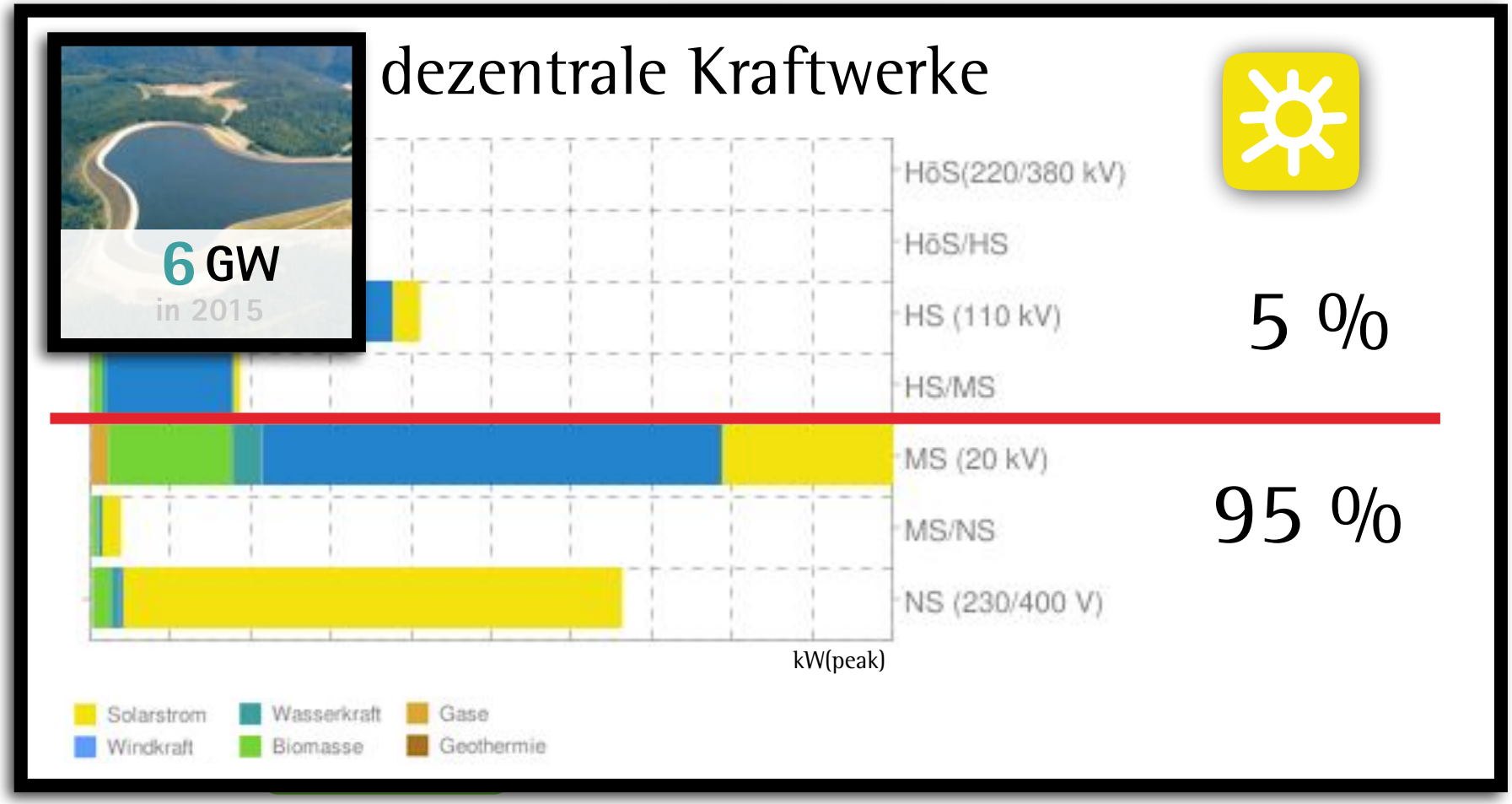
30? Mio. dezentrale Kraftwerke



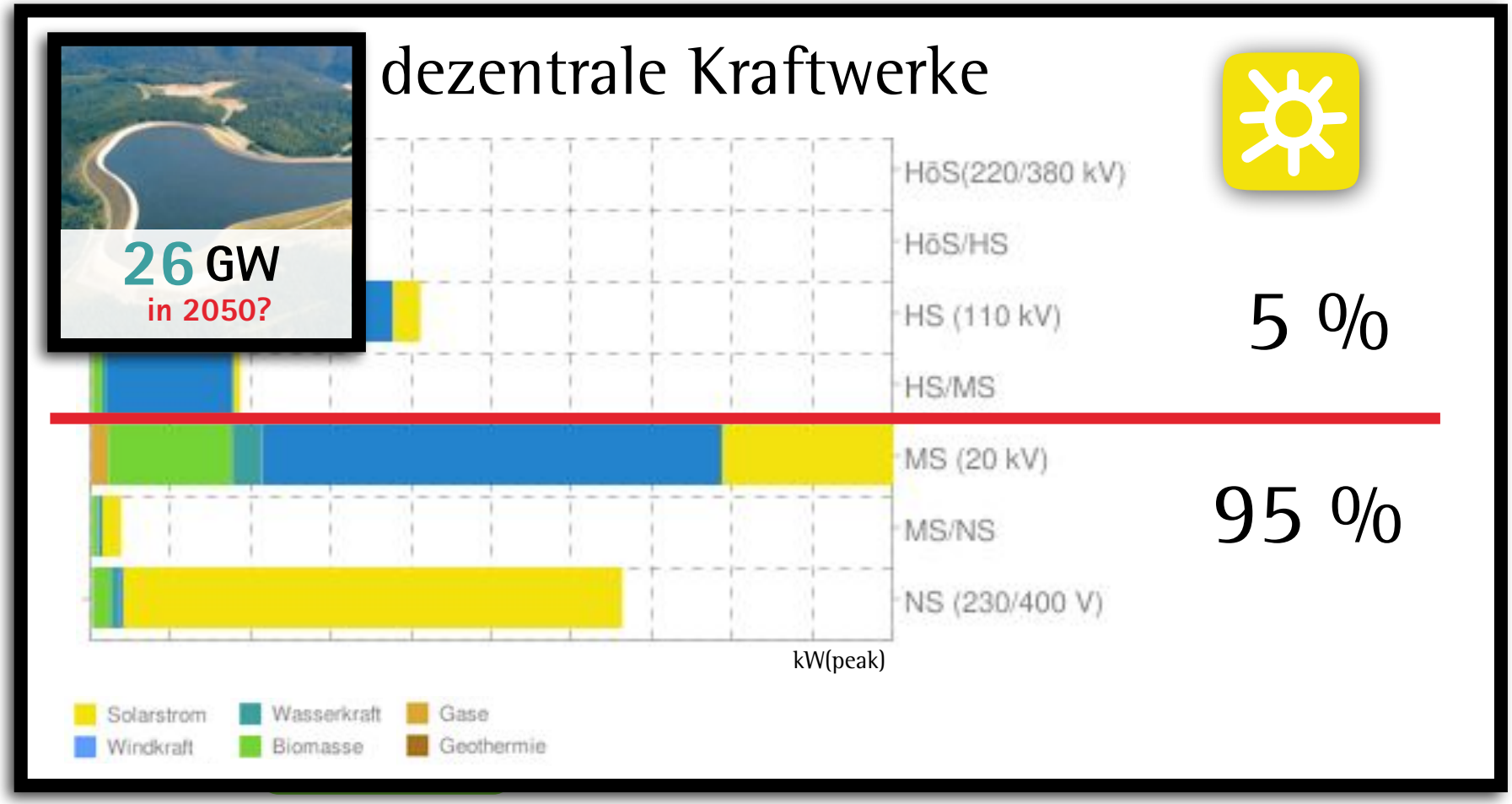
5 %

95 %

250 bis 500? GW Photovoltaik

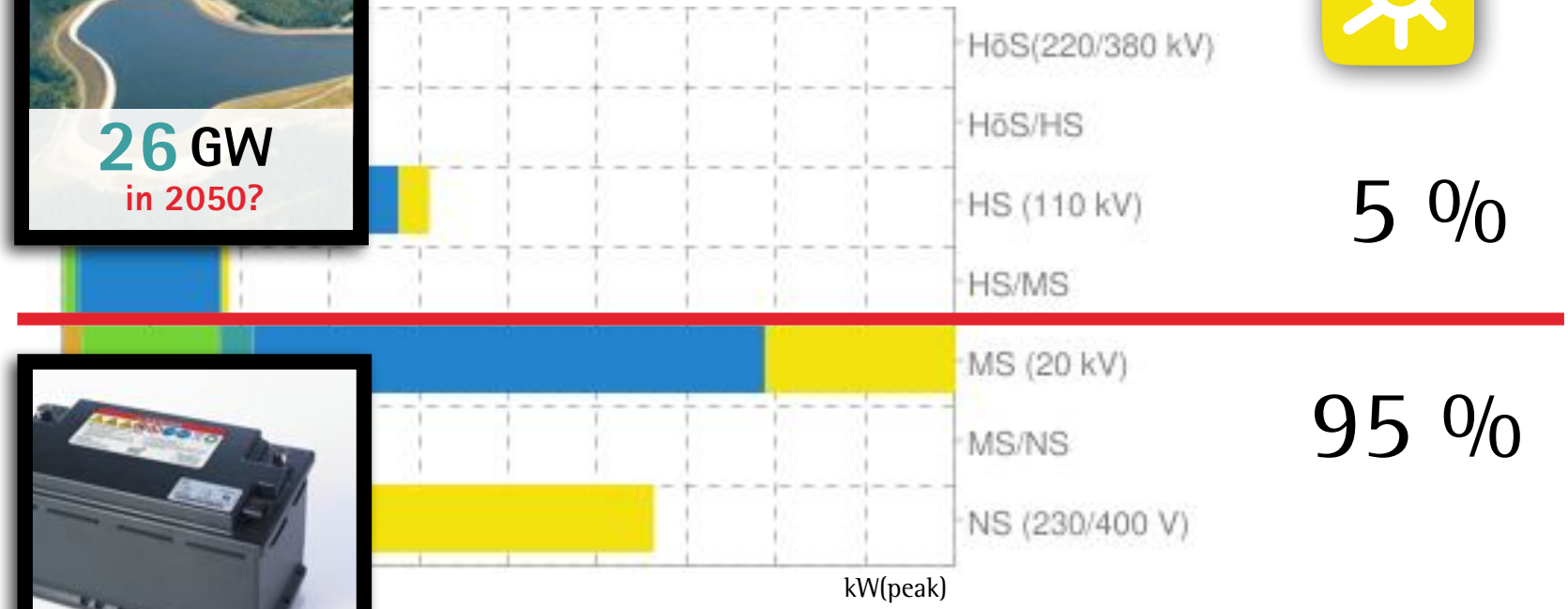


250 bis 500? GW Photovoltaik



250 bis 500? GW Photovoltaik

dezentrale Kraftwerke



5 %

95 %

250 bis 500? GW Photovoltaik

dezentrale Kraftwerke
brauchen
dezentrale Speicher

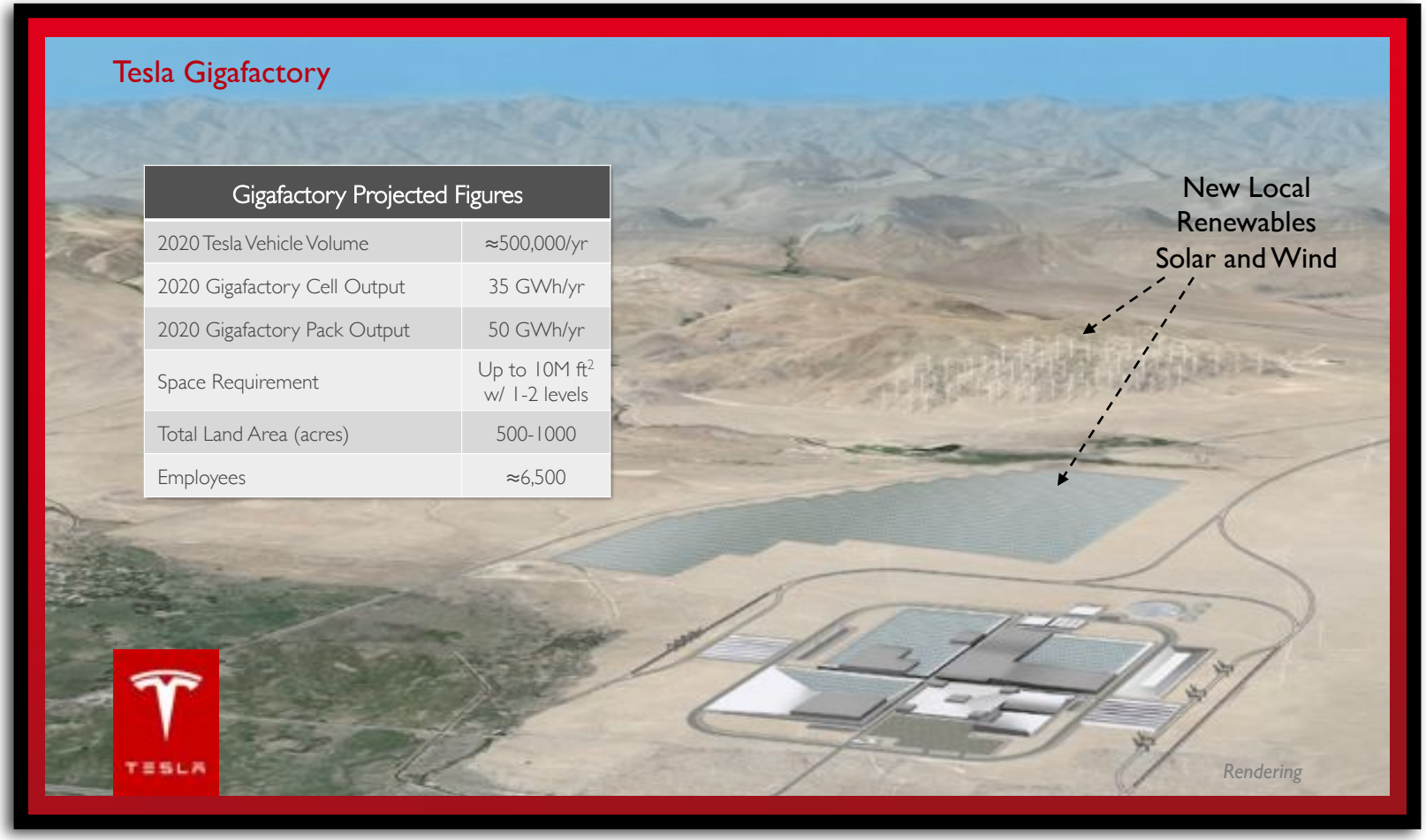
5 %

95 %

Elektromobilität ... Akkus in Massenproduktion

Elektromobilität ... Akkus in Massenproduktion

TESLA



Gigafactory Projected Figures	
2020 Tesla Vehicle Volume	≈500,000/yr
2020 Gigafactory Cell Output	35 GWh/yr
2020 Gigafactory Pack Output	50 GWh/yr
Space Requirement	Up to 10M ft^2 w/ 1-2 levels
Total Land Area (acres)	500-1000
Employees	≈6,500

Gigafactory = Massenproduktion

Aus einer "5 Mrd USD" Akku-Fabrik ...

Gigafactory Projected Figures	
2020 Tesla Vehicle Volume	≈500,000/yr
2020 Gigafactory Cell Output	35 GWh/yr
2020 Gigafactory Pack Output	50 GWh/yr
Space Requirement	Up to 10M ft^2 w/ 1-2 levels
Total Land Area (acres)	500-1000
Employees	≈6,500

50 GW_h/a

TESLA

Gigafactory = **Massenproduktion**

Aus einer "5 Mrd USD"

Gigafactory Projected Figures	
2020 Tesla Vehicle Volume	≈500,000/yr
2020 Gigafactory Cell Output	35 GWh/yr
2020 Gigafactory Pack Output	50 GWh/yr
Space Requirement	Up to 10M ft^2 w/ 1-2 levels
Total Land Area (acres)	500-1000
Employees	≈6,500

50 GW_h/a

Gigafactory

26 GW

in 2050?

Pumpspeicher

Aus einer "5 Mrd USD"

Gigafactory Projected Figures	
2020 Tesla Vehicle Volume	≈500,000/yr
2020 Gigafactory Cell Output	35 GWh/yr
2020 Gigafactory Pack Outp	
Space Requirement	
Total Land Area (acres)	
Employees	

50

Faktor 70

26 GW

in 2050?

Gigafactory

Pumpspeicher

Na-Fe-Cl?

Solid-State?

Graphen?

Lithium-Schwefel?

Silizium-Luft?

Carbon-Nanotubes?

... die Reise hat gerade erst begonnen!

Merke!

“Die Mobilitätswende zwingt uns zur Massenproduktion von Akkutechnologie.”

Merke!

“Akkus werden in wenigen Jahren die günstigste Form der Stromspeicherung sein.”

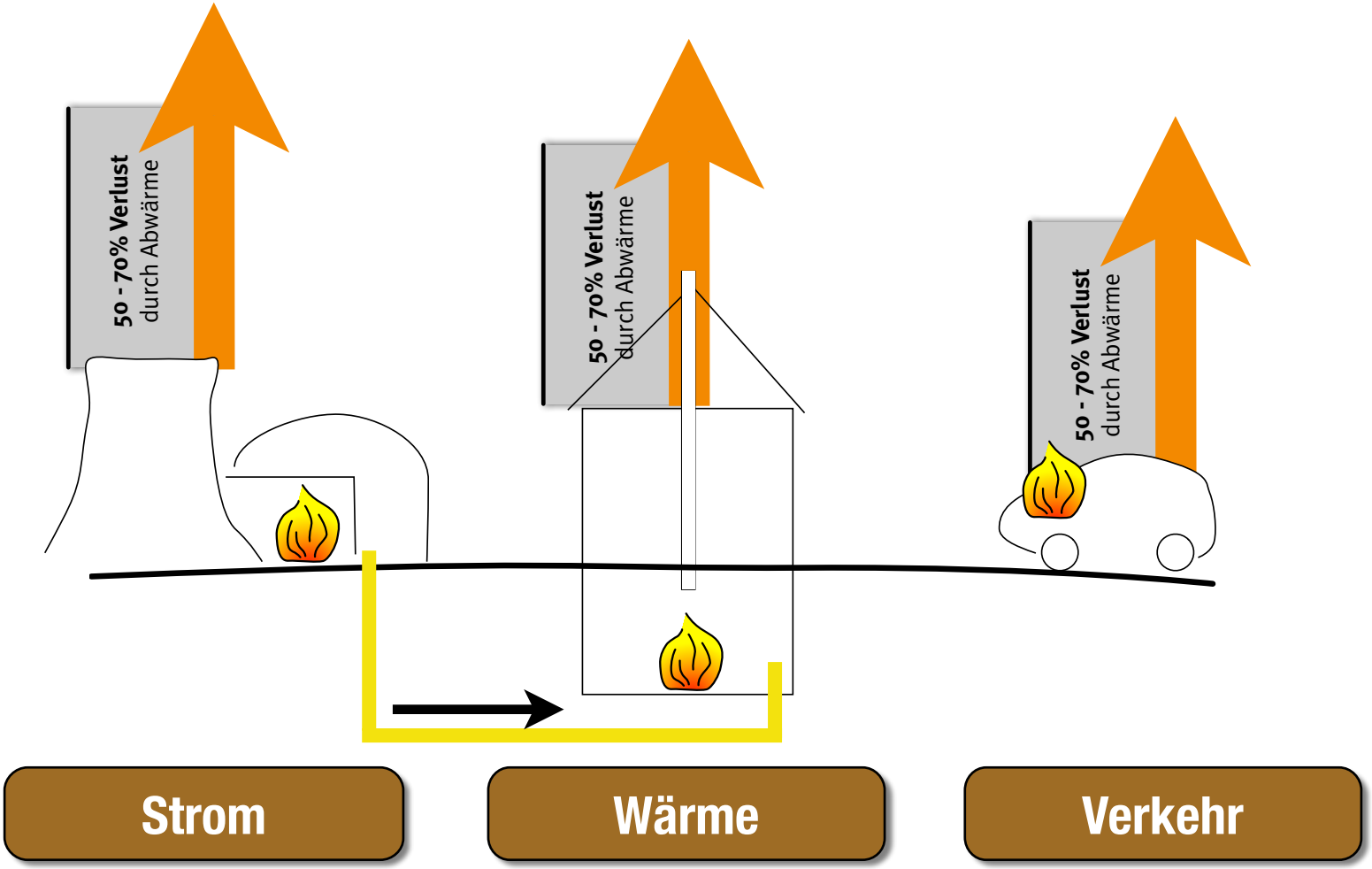
Merke!

“Pumpspeicher können keinen relevanten Beitrag zur Energiewende leisten.”

Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

Dezentrale Stromnetze
und Energiespeicher

Fossile Struktur – 3 monopolisierte Sektoren

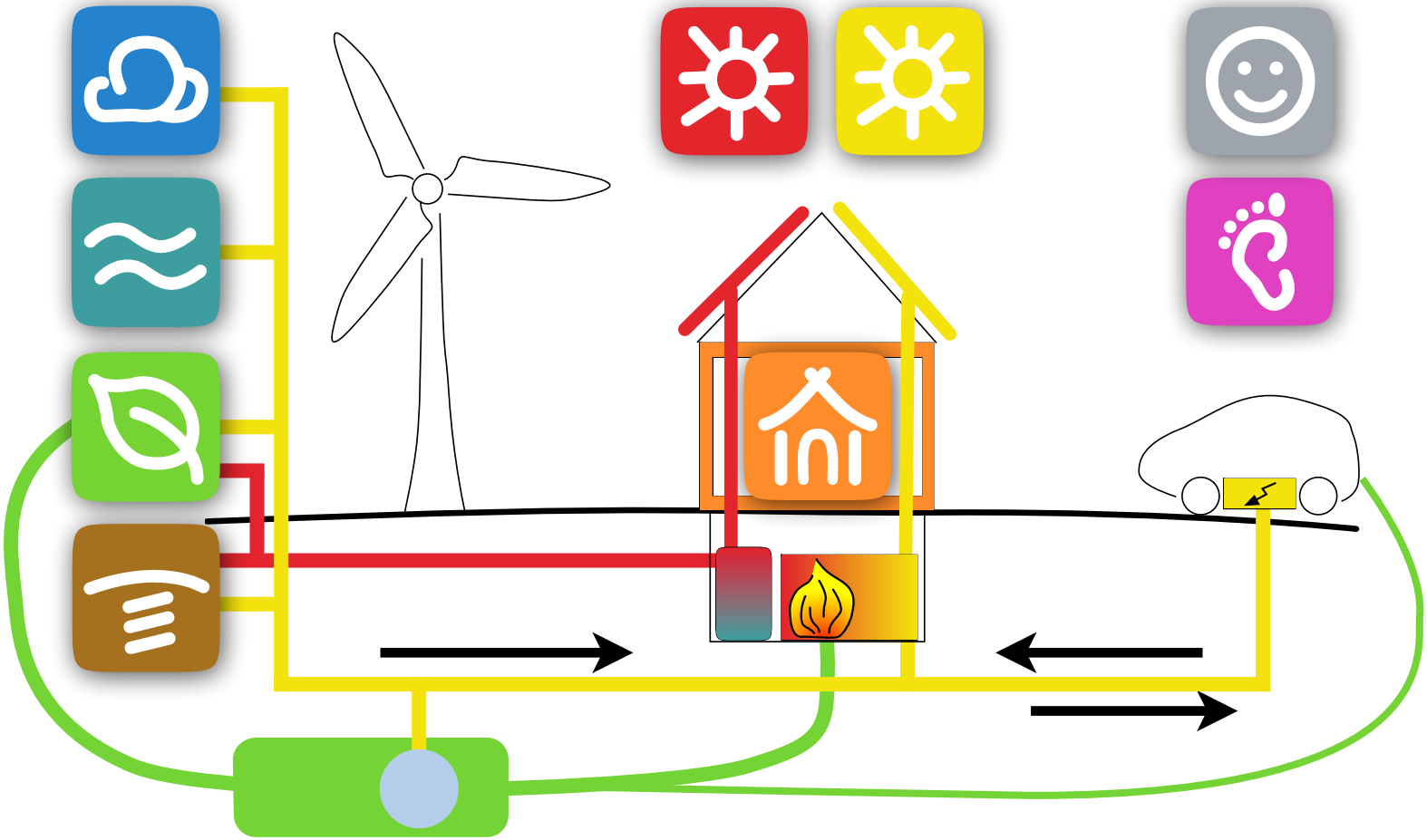


Fossile Struktur – 3 monopolisierte Sektoren

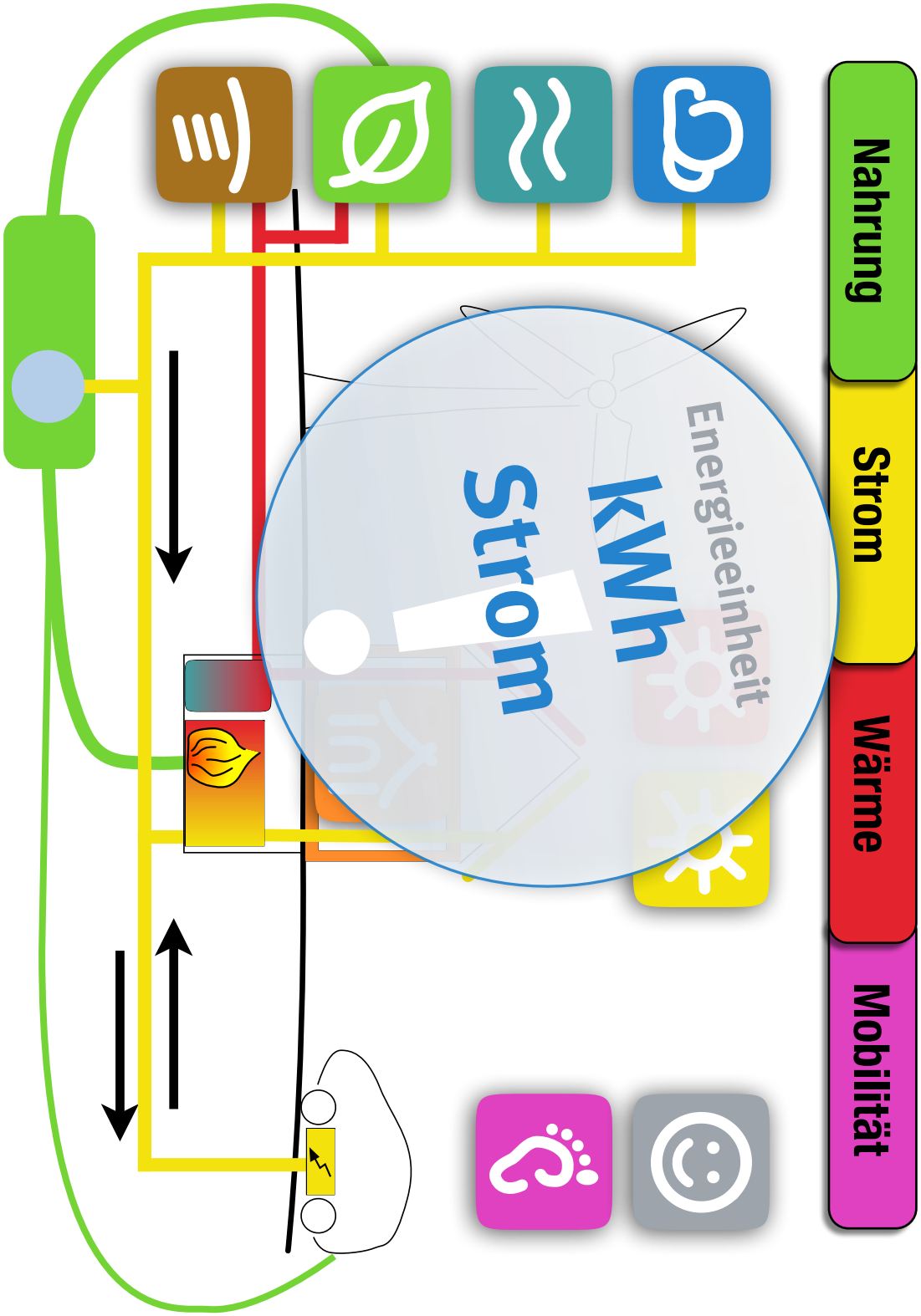
Planwirtschaft

Strom | Wärme | Verkehr

Solare Struktur ... Dezentrale Netzwerke



Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher



Strom

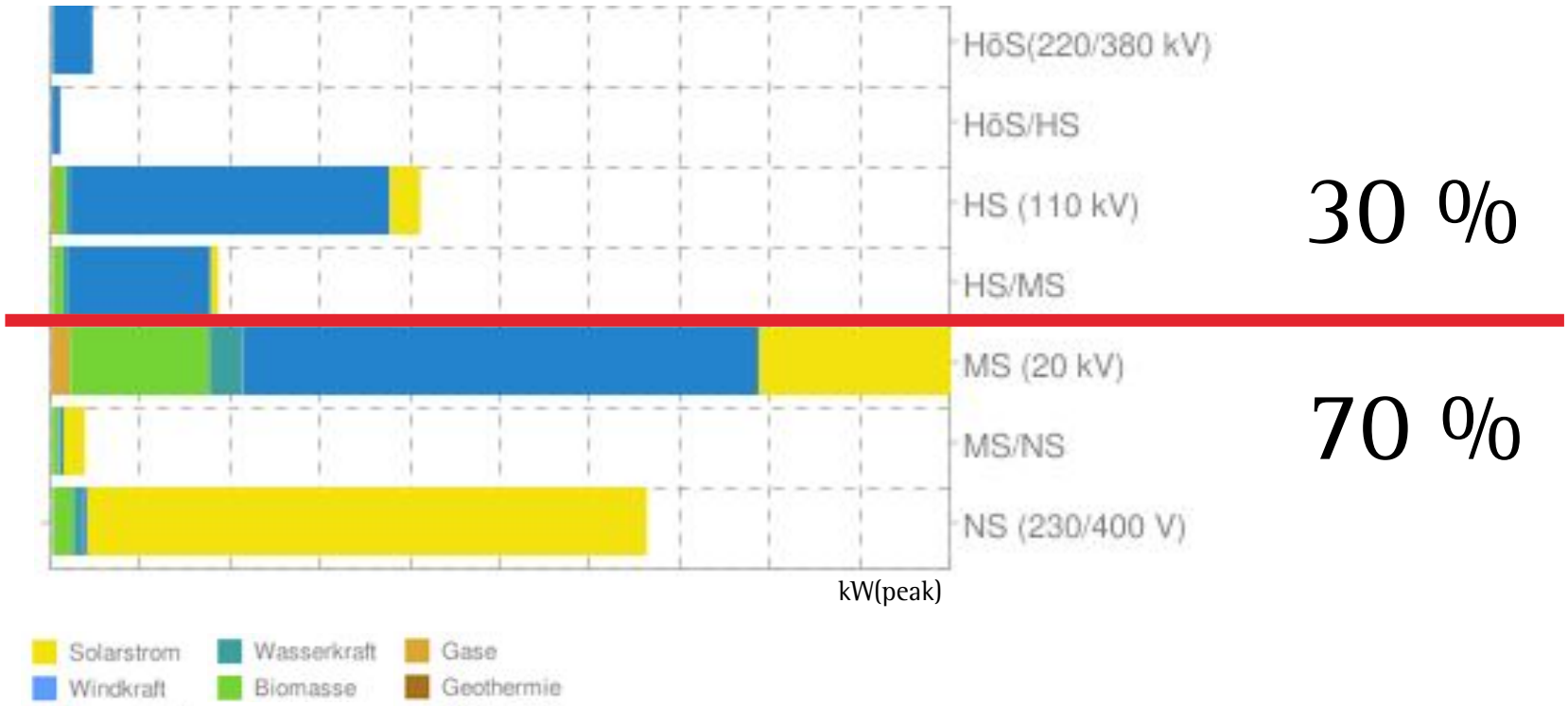
1,45 Mio. dezentrale Kraftwerke ... in nur

10 Jahren

= **Massenproduktion**

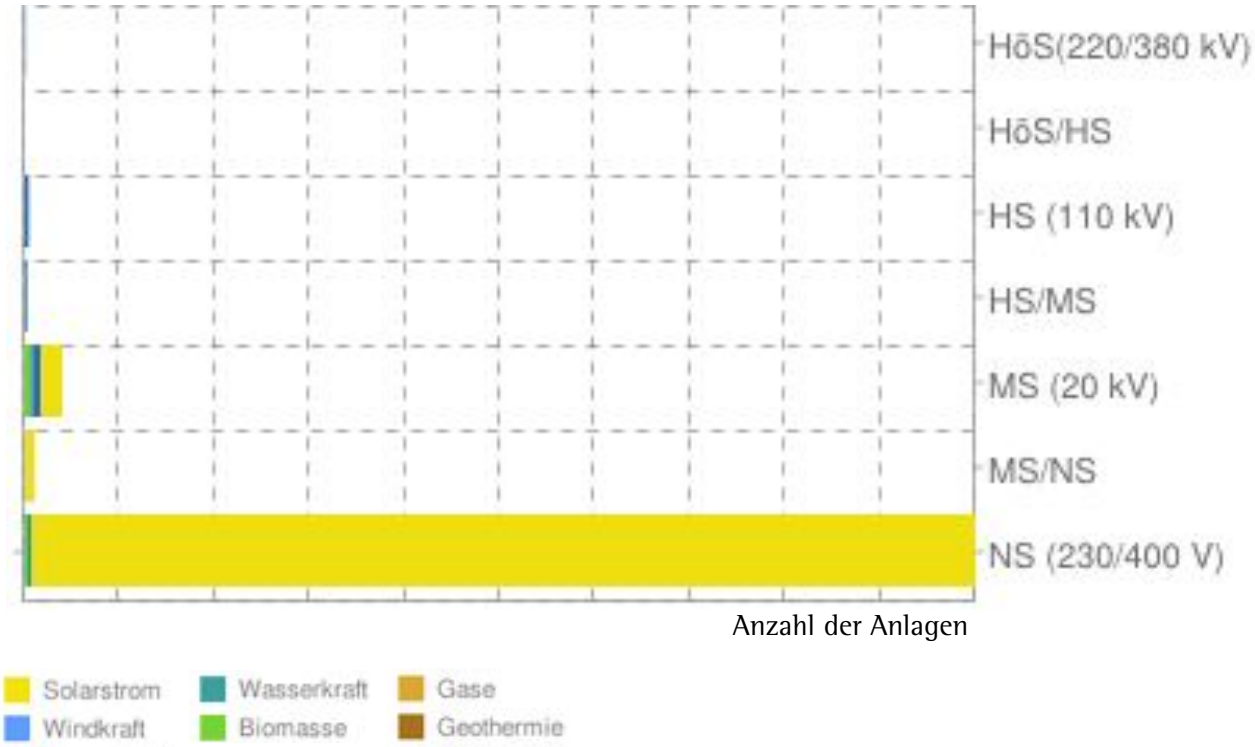
Strom

1,45 Mio. dezentrale Kraftwerke



Strom

1,45 Mio. dezentrale Kraftwerke



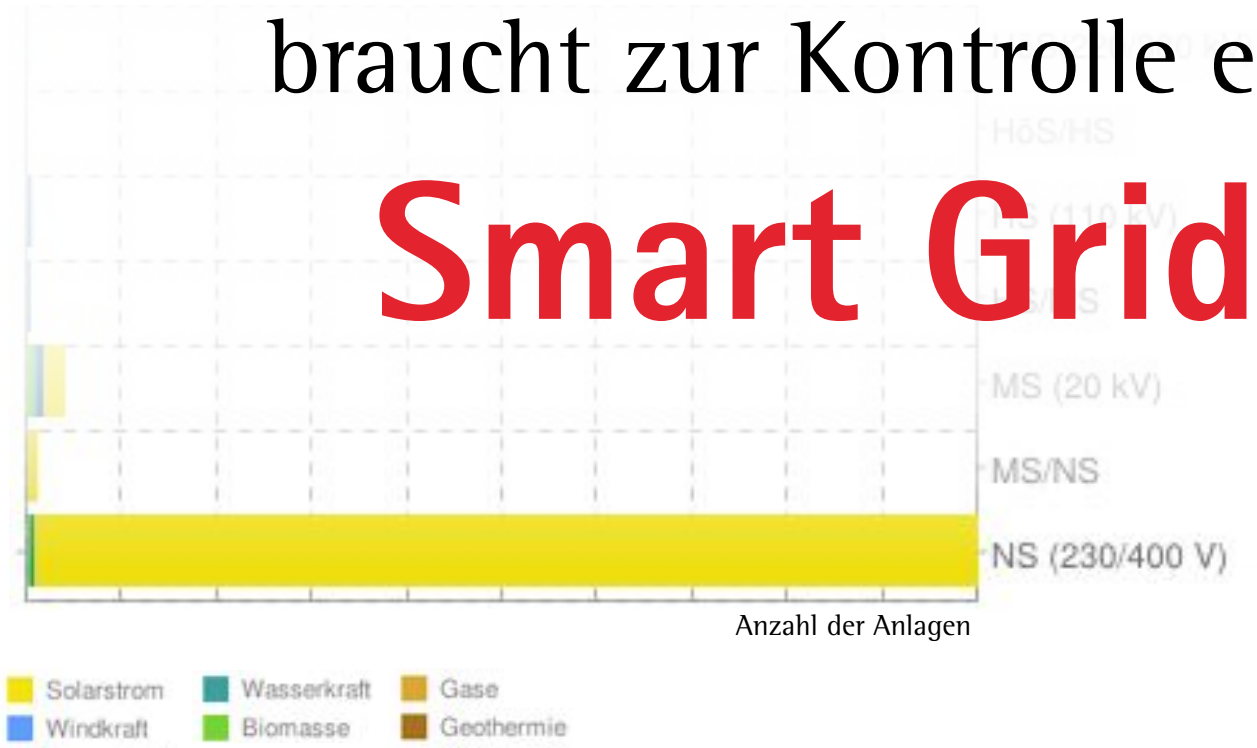
1,38 Mio.

Strom

Die Energiewende

braucht zur Kontrolle ein

Smart Grid



1,38 Mio.

Die Energiewende

braucht zur Kontrolle ein

Smart Grid

und angeblich auch diese

Smart Meter

Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

Die Energiewende

braucht zur Kontrolle ein

Smart Grid

und angeblich auch diese

Smart Meter

Die Energiewende

braucht zur Kontrolle ein

Sm

und a

Sm

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Baustein für die Energiewende: 7 Eckpunkte für das „Verordnungspaket Intelligente Netze“

I. Die Notwendigkeit eines energiewendetauglichen Smart Metering

Die fluktuierende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien stellt besondere Anforderungen an das Stromversorgungssystem. Dieses muss zur Netz- und Marktintegration der Erneuerbaren stets ausreichend Kapazitäten und Flexibilitäten zum Ausgleich oder zur Abnahme des volatilen erneuerbaren Stroms bereithalten. Zusammengehalten wird ein solches System von intelligenten Netzen, die nicht nur Strom transportieren und verteilen, sondern

Die Energiewende

braucht zur Kontrolle ein

Smart Grid

Das “Internet” des “Stromnetzes”?

Smart Metering

IT-Kommunikation

Die Energiewende

braucht zur Kontrolle ein

Prosumer

Smart Grid

Neue Geschäftsmodelle

Lastverlagerung

variable Preissignale

Das “Internet” des “Stromnetzes”?

Smart Metering

IT-Kommunikation

Die Energiewende

braucht zur Kontrolle ein

Prosumer

Smart Grid

Neue Geschäftsmodelle

Lastverlagerung

variable Preissignale

Das “Internet” des “Stromnetzes”?

Die Energiewende

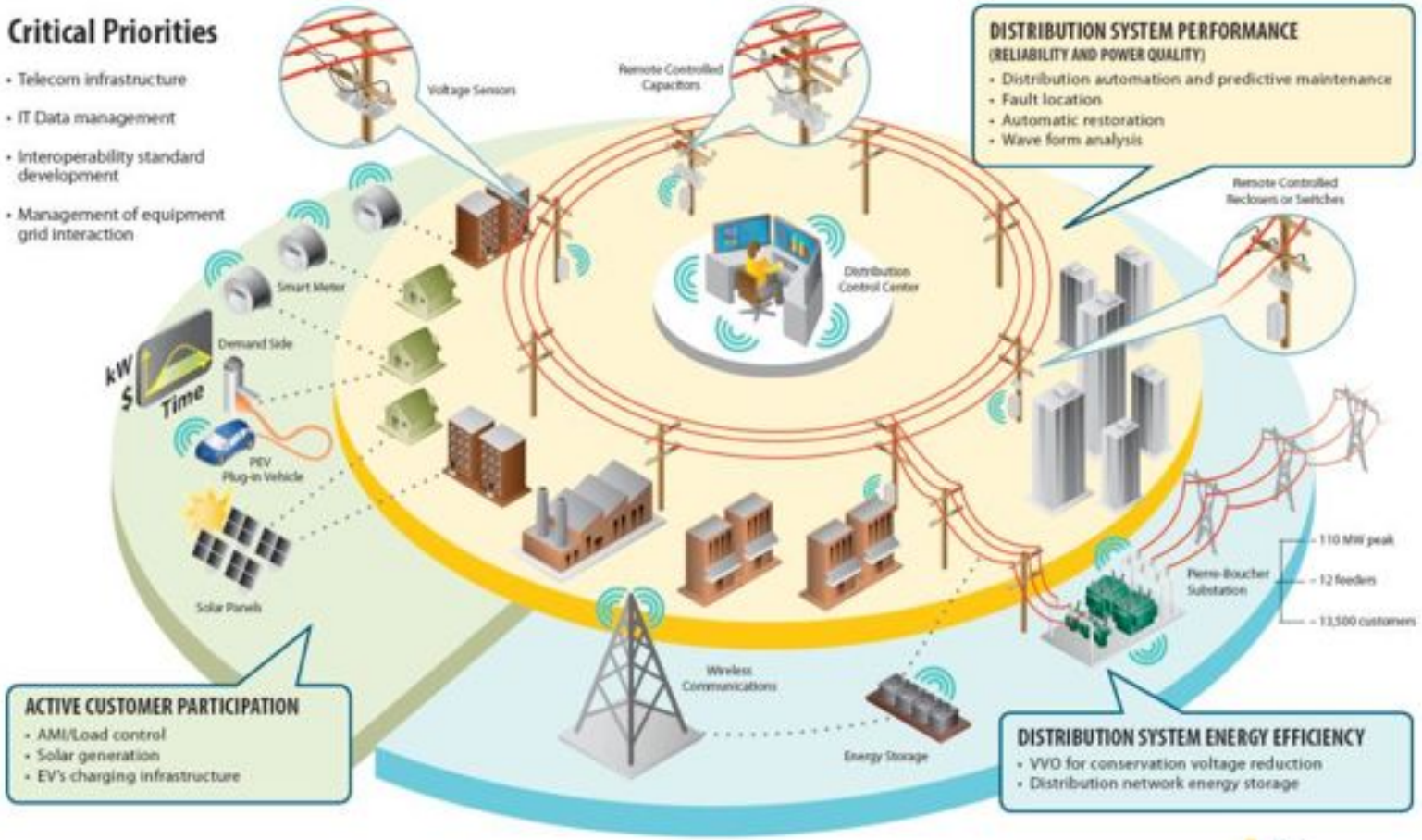
braucht zur Kontrolle ein

Smart Grid

Neue Geschäftsmodelle

Das “Internet” des “Stromnetzes”?

Die Vorstellungen vom "Smart Grid"



Quelle: EPRI

Die Vorstellungen vom "Smart Grid"

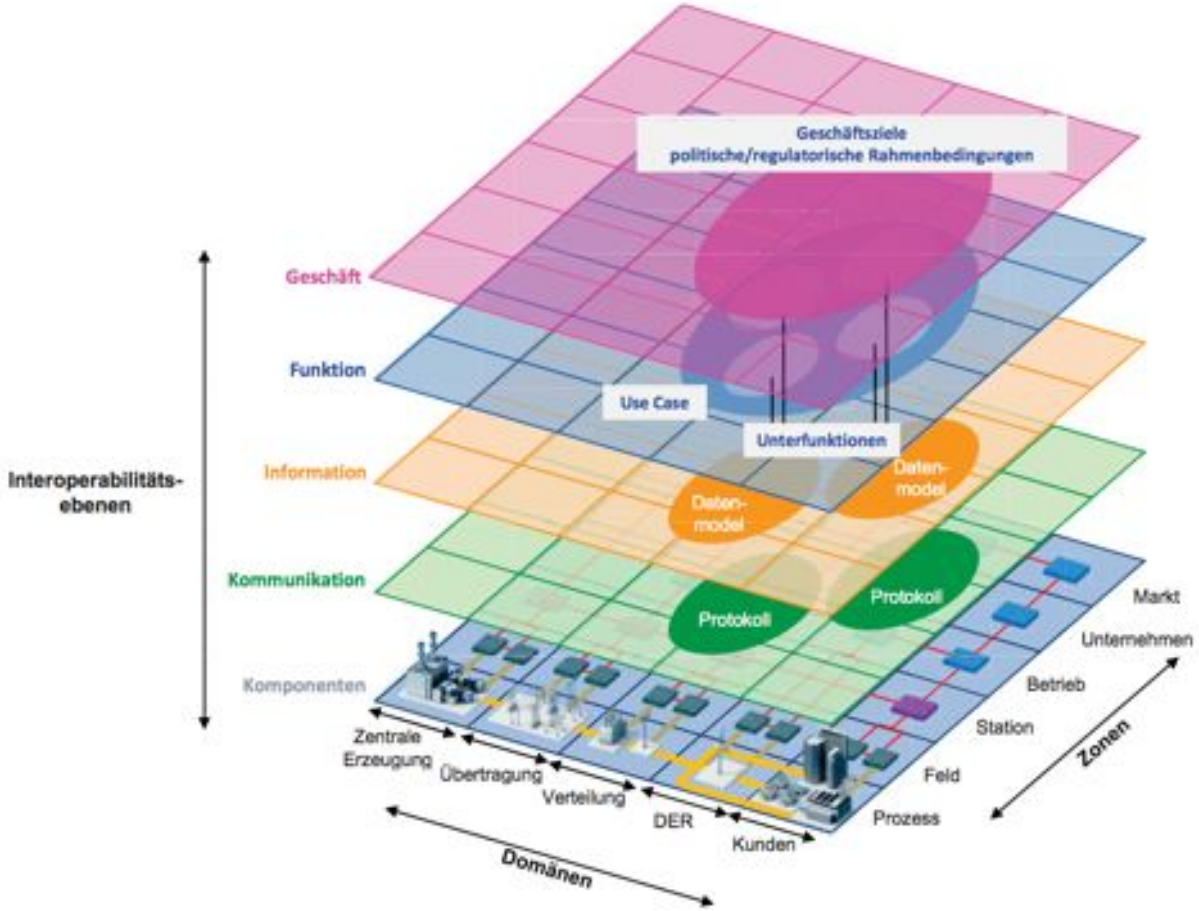
Quelle: EPRI

Die Vorstellungen vom "Smart Grid"

Der Netzbetreiber als zentraler "allwissender Puppenspieler"

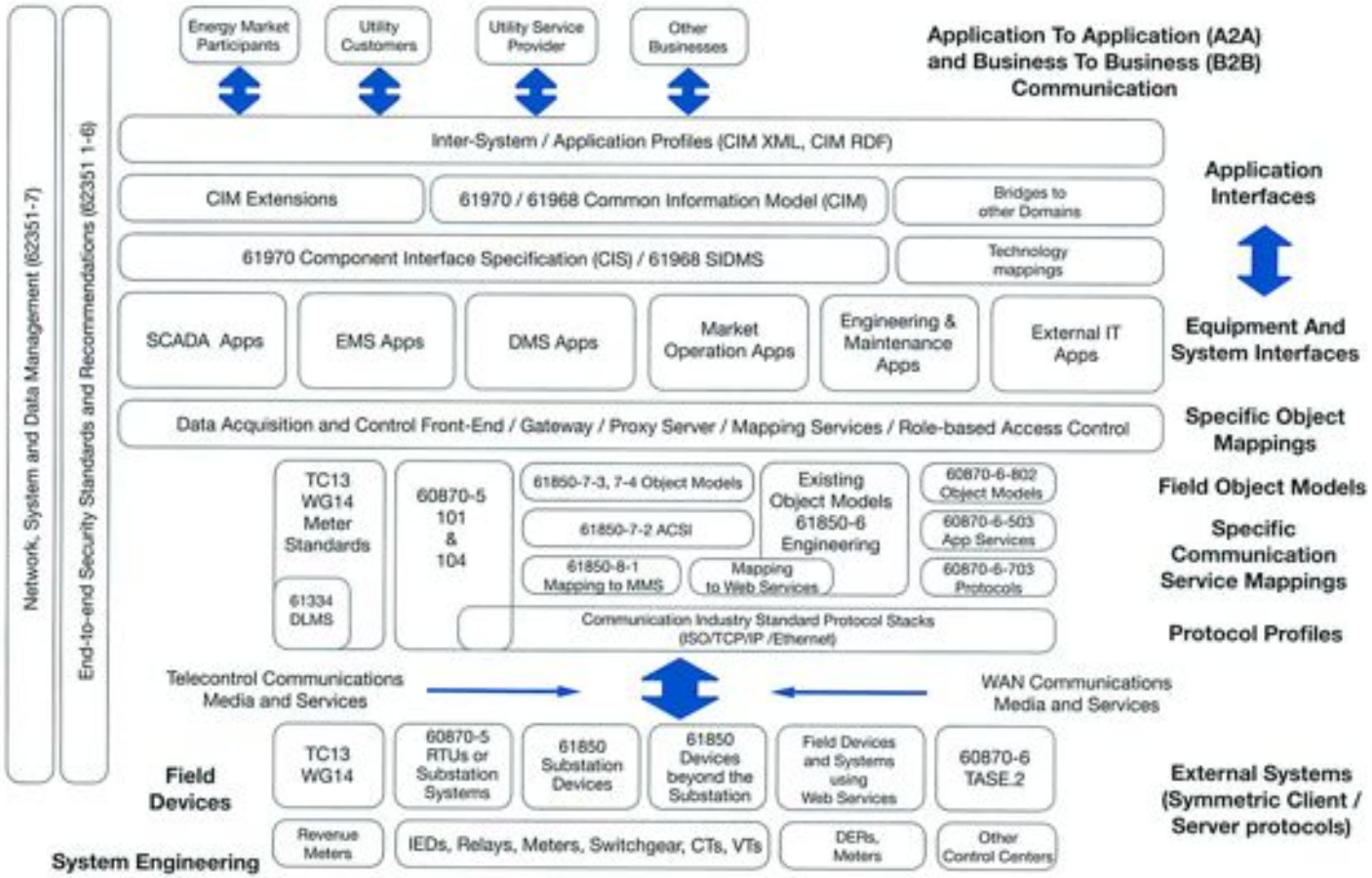
Quelle: EPRI

Die Vorstellungen vom "Smart Grid"



Quelle: DKE Normungsroadmap - Smart Grids 2.0

Die Vorstellungen vom "Smart Grid"



Quelle: Die IEC TR 62357 Seamless Integration Reference Architecture (SIA)

Merke

“Systeme scheitern an ihrer eigenen Komplexität!”

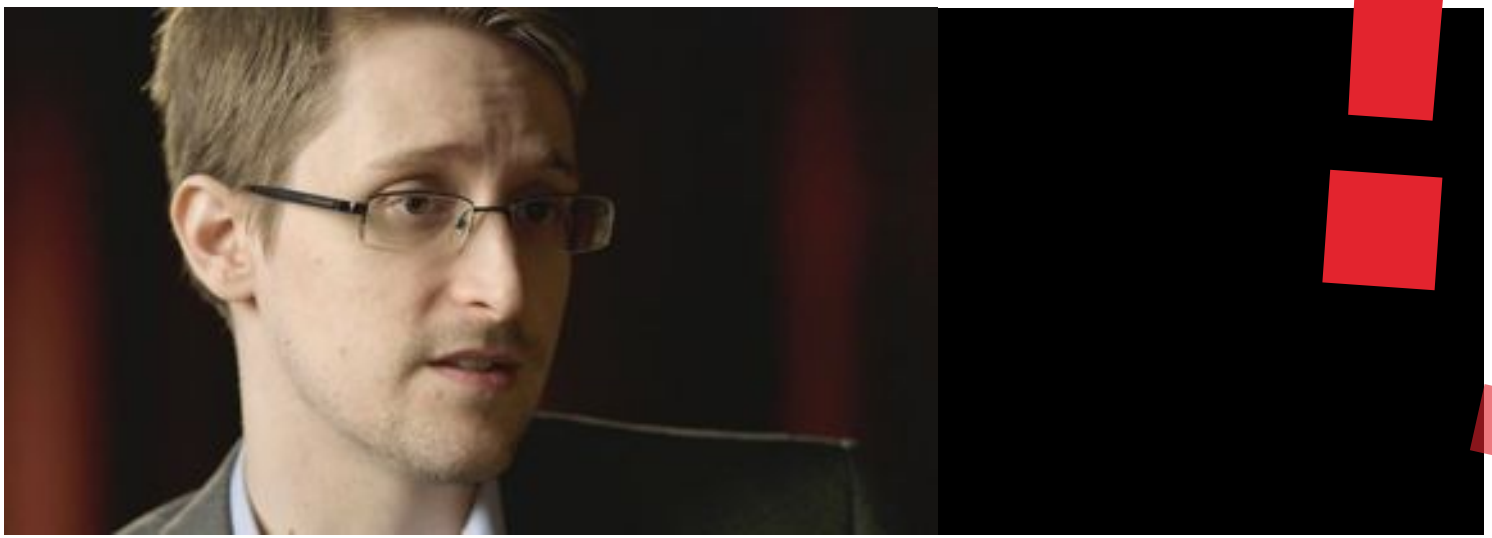
Gefahrenpotential
Smart Grid

Das “Internet” des “Stromnetzes”?

SENDETERMIN Mo, 12.01.15 | 23:30 Uhr

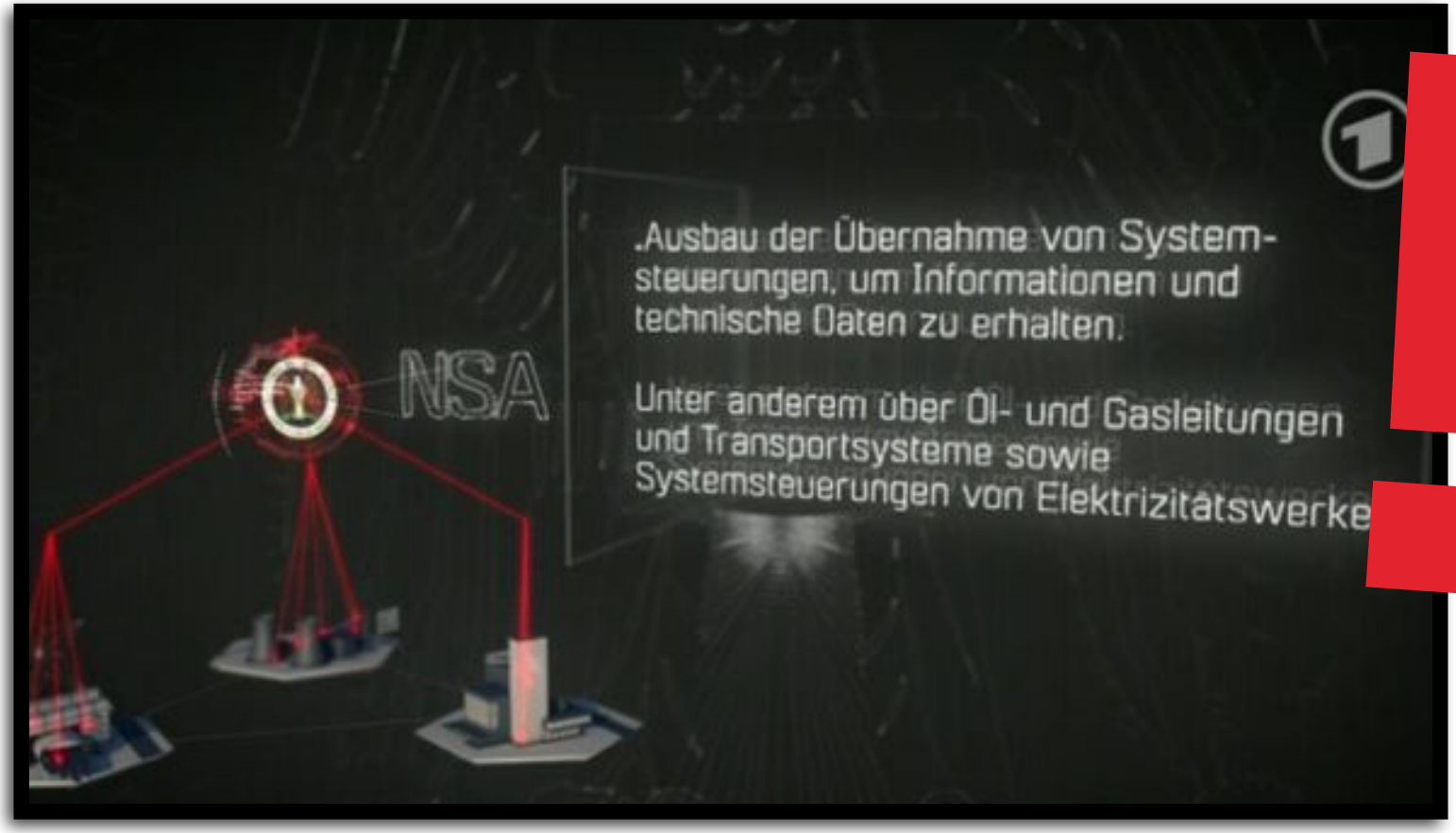
Die Story im Ersten – Schlachtfeld Internet

Wenn das Netz zur Waffe wird



Die Story im Ersten: Schlachtfeld Internet | Video verfügbar bis 19.01.2015

Quelle: ARD Sendung ... z.B. via: https://www.youtube.com/watch?v=C8mvxStTfTw



Quelle: ARD Sendung ... z.B. via: https://www.youtube.com/watch?v=C8mvxStTfTw

NIST ECC Curves (ctd)

How were these generated?

- Deterministically (i.e. verifiably), from a public s

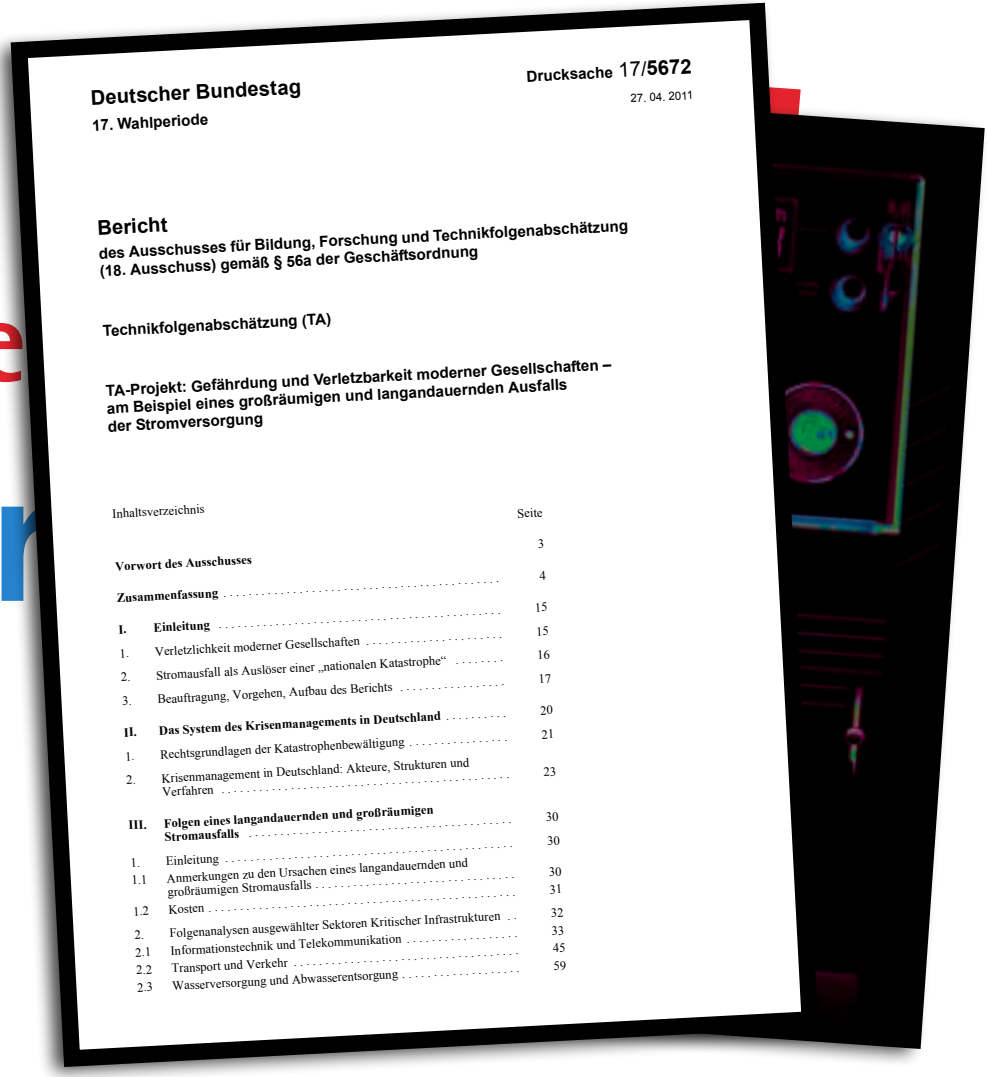
What's the seed value?

- C49D3608 86E70493 6A6678E1 139D26B7 81

Where did that come from?

- Jerry Solinas at the NSA
- (Jerry is a known ECC mathematician at the N

Quelle: Peter



Deutscher Bundestag
17. Wahlperiode

Drucksache 17/5672
27. 04. 2011

Bericht
des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung

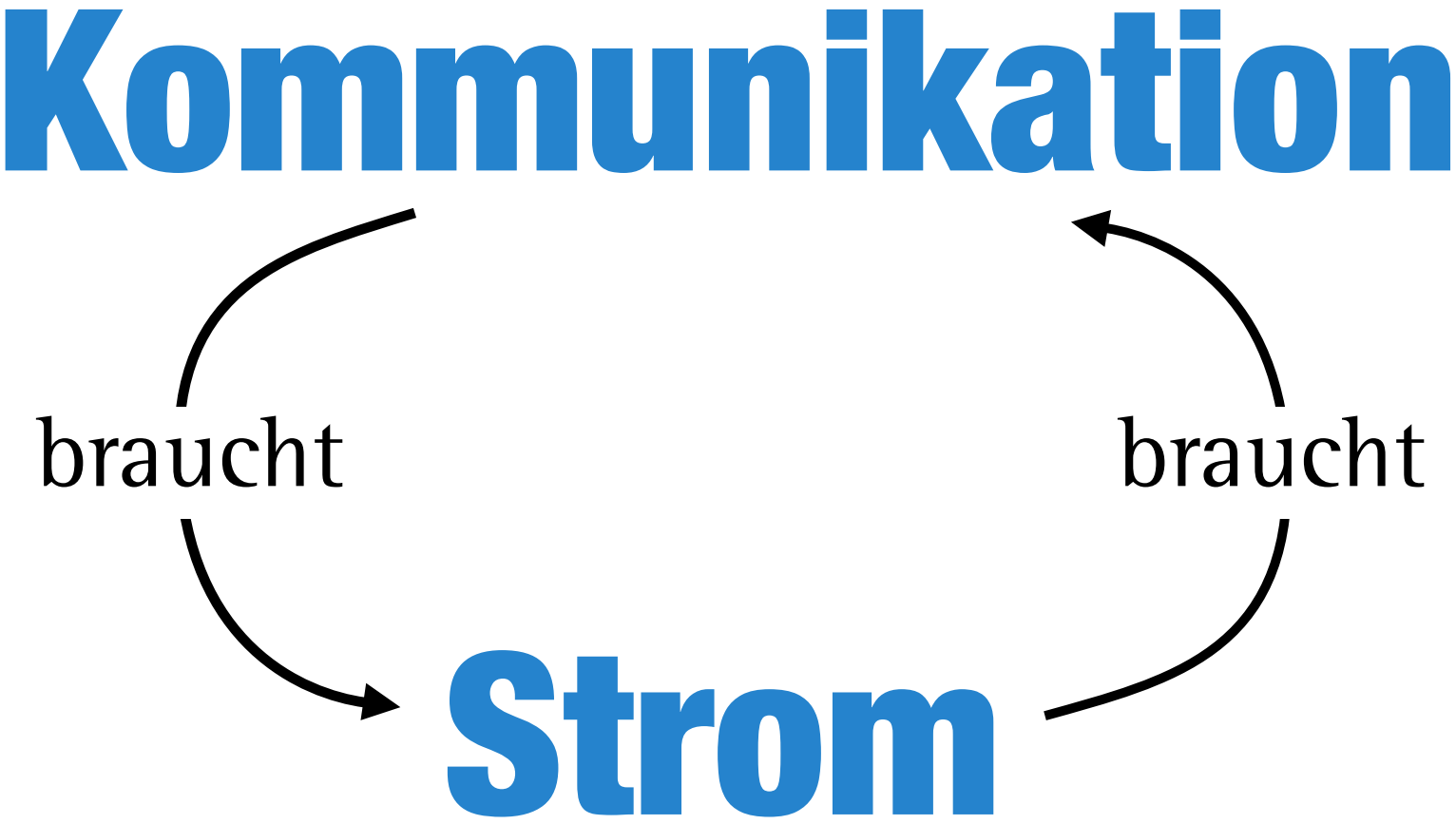
Technikfolgenabschätzung (TA)

TA-Projekt: Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen und langandauernden Ausfalls der Stromversorgung

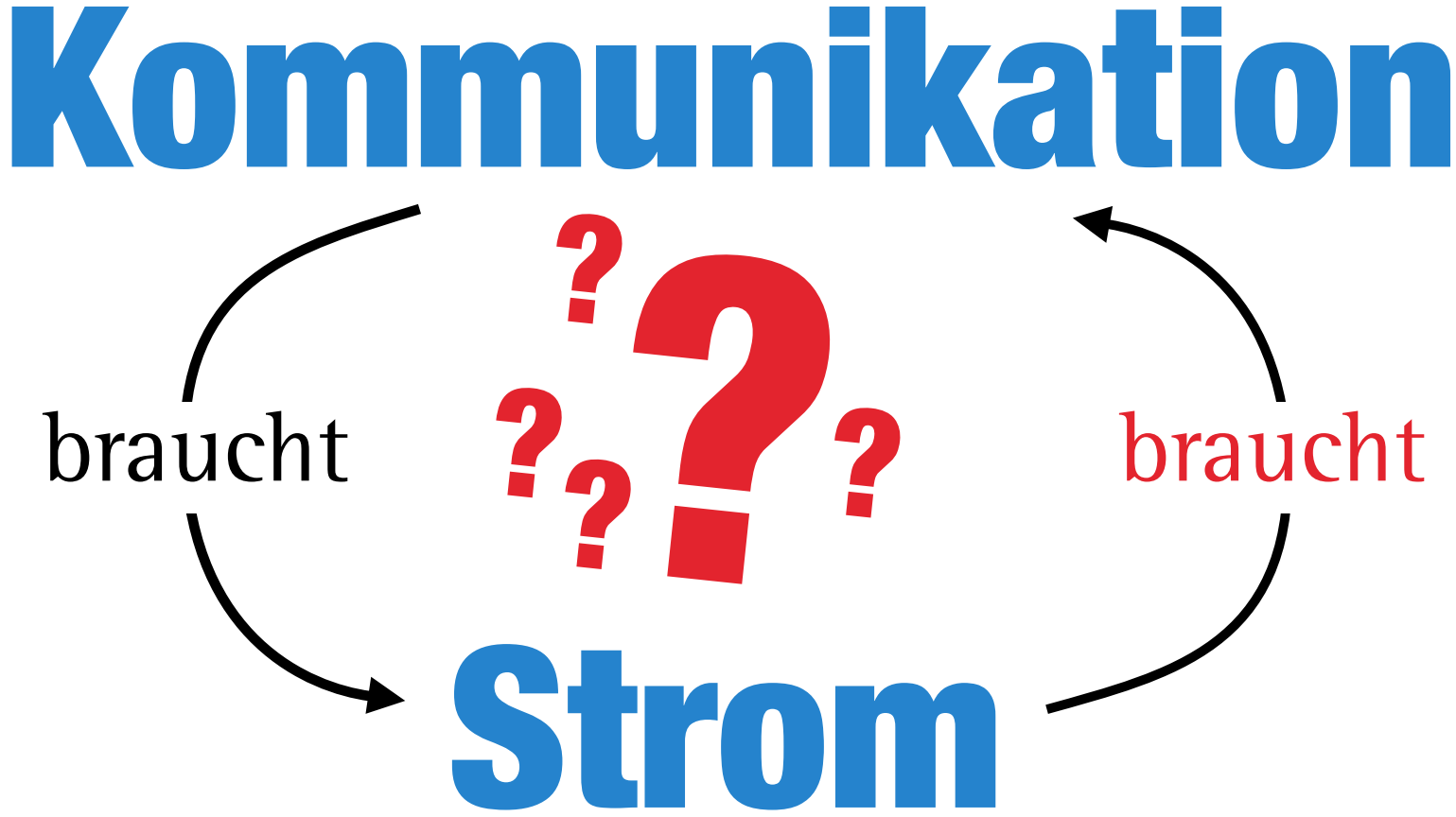
Inhaltsverzeichnis — Seite

Vorwort des Ausschusses . . . 3
Zusammenfassung . . . 4
I. Einleitung . . . 15
1. Verletzlichkeit moderner Gesellschaften . . . 15
2. Stromausfall als Auslöser einer „nationalen Katastrophe" . . . 16
3. Beauftragung, Vorgehen, Aufbau des Berichts . . . 17
II. Das System des Krisenmanagements in Deutschland . . . 20
1. Rechtsgrundlagen der Katastrophenbewältigung . . . 21
2. Krisenmanagement in Deutschland: Akteure, Strukturen und Verfahren . . . 23
III. Folgen eines langandauernden und großräumigen Stromausfalls . . . 30
1. Einleitung . . . 30
1.1 Anmerkungen zu den Ursachen eines langandauernden und großräumigen Stromausfalls . . . 30
1.2 Kosten . . . 31
2. Folgenanalysen ausgewählter Sektoren Kritischer Infrastrukturen . . . 32
2.1 Informationstechnik und Telekommunikation . . . 33
2.2 Transport und Verkehr . . . 45
2.3 Wasserversorgung und Abwasserentsorgung . . . 59

Zentrale Fragen zum "Smart Grid"



Zentrale Fragen zum "Smart Grid"



Zentrale Fragen zum "Smart Grid"

Merke!

“Sabotageakte mit Hilfe von Computersystemen werden in der Zukunft zunehmen.”

Merke!

“Wir brauchen einfache, robuste und eigensichere Lösungen.”

In der Natur

... gibt es **keine zentral Leitstelle**

sondern lediglich große und kleine **Ereignisse**

... auf die **jedes Teilsystem**
eigenständig (dezentral) reagiert.

In der Natur

... gibt es **keine zentral Leitstelle**

Wettervor-
hersage

Wetter

Wettervor-
hersage

Rechts vor Links

funktioniert immer

Grüne Welle

sehr effizient, wenn es funktioniert

Realität ...“funktioniert” immer, ist aber nicht zwingend optimal

Wetter

Rechts vor Links

100%-EE Grid-Code

Theorie ... ist unsicher aber letztlich auch zeitunkritisch

Wettervor-hersage

Grüne Welle

“Smart -Grid”

Inselnetzfähig

"Keep-it-simple"

Die Energiewende

Modular

braucht ein anderes

Smart Grid

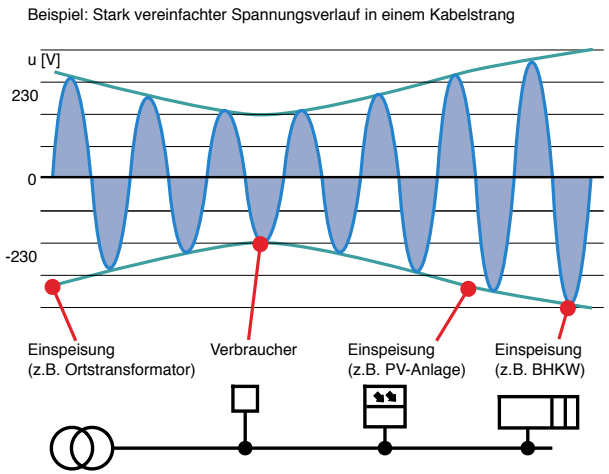
Ohne zentrale Leitstelle

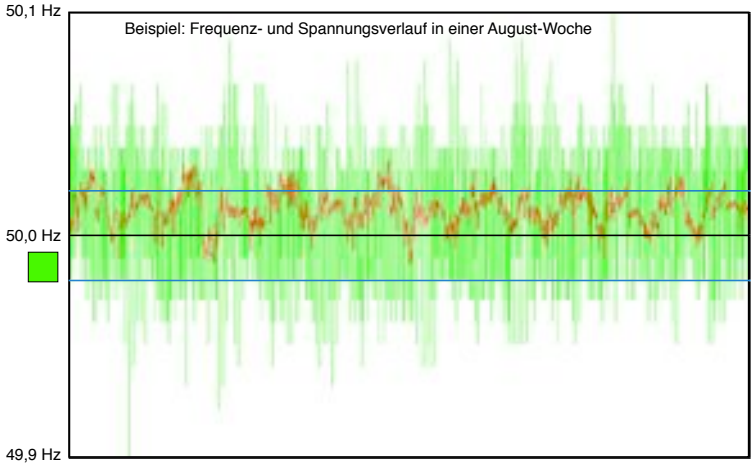
Nicht zerstörbar

Fehlertolerant

Das "Internet" des "Stromnetzes"?

Stromversorgung ... Angebot und Nachfrage





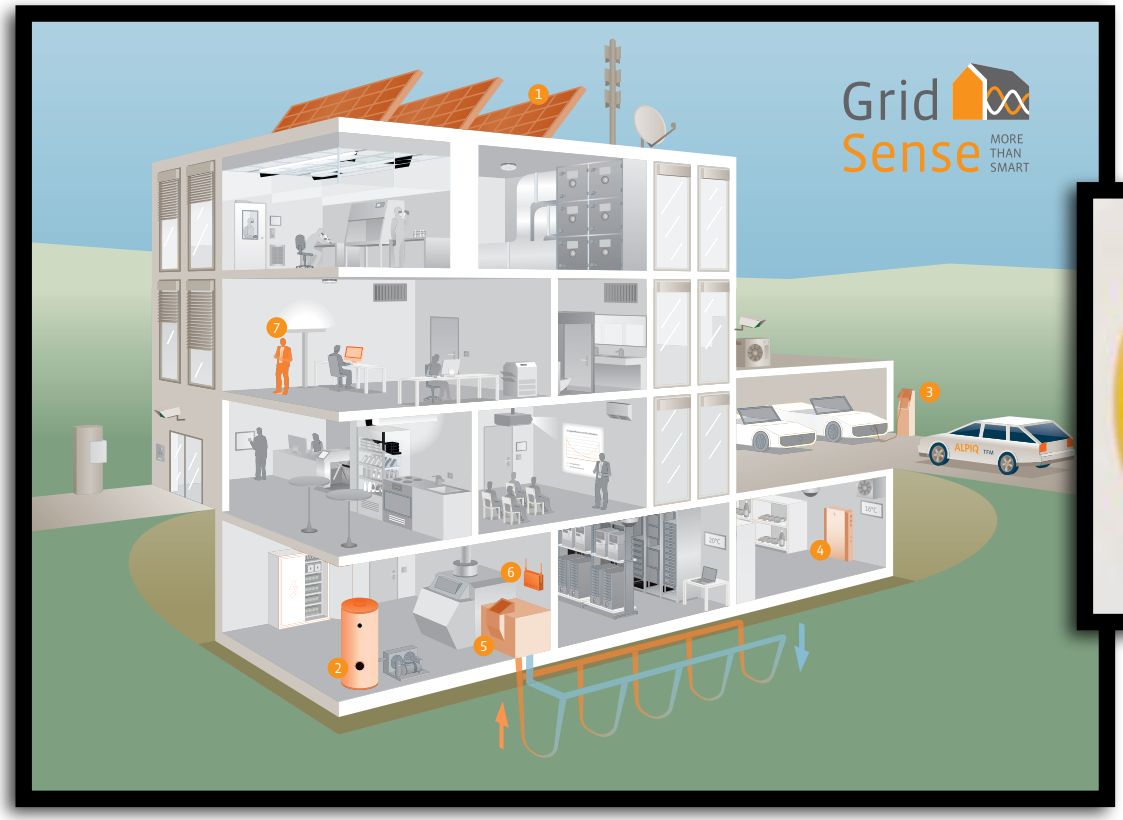
Spannung

= lokales Gleichgewicht

Frequenz

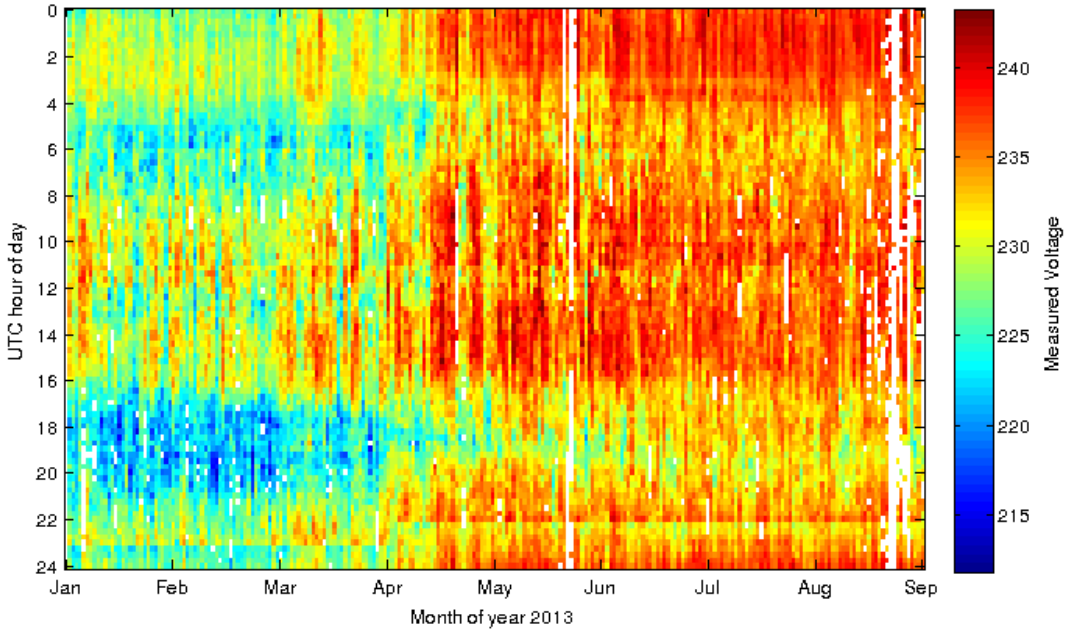
= globales Gleichgewicht

Beispiel: GridSense – Alpiq, Schweiz

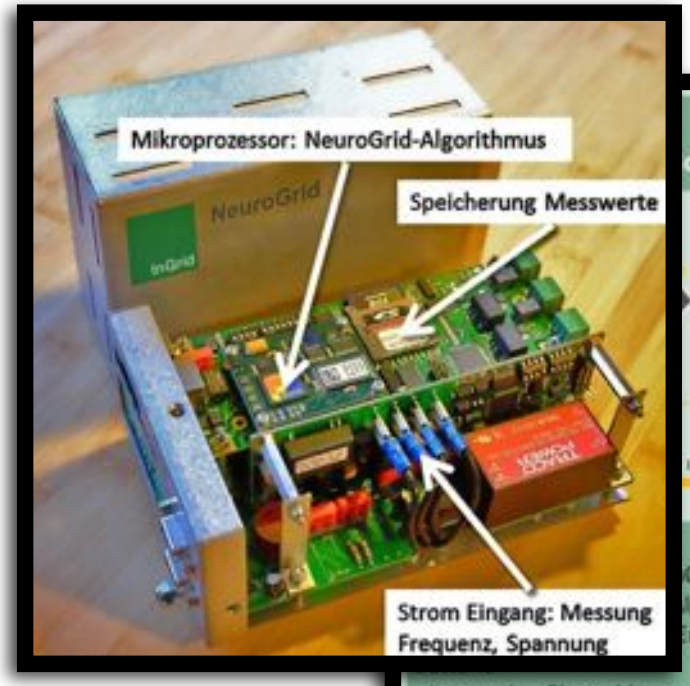


Beispiel: GridSense – Alpiq, Schweiz

Tägliche und saisonale Muster des Spannungsverlaufs



Beispiel: InGrid



ox(en)	Phase II: InGrid-Boxen im kleinen Schwarm	Phase III: InGrid-Boxen im grossen Schwarm
Grid-Box gorithmus ntladen der –Integration Einstrahlungsprognosen –Testen Übersteuerungsmöglichkeiten **Dauer** –2 bis 3 Monate	**Zielsetzungen** –Optimierung NeuroGrid-Algorithums –Netzfreundliches Verhalten im kleinen Schwarm –Auswirkungen Einstrahlungsprognosen –Auswirkungen Übersteuerungen –Einzelne schaltbare Lasten **Dauer** –3 bis 5 Monate	**Zielsetzungen** –Optimierung NeuroGrid-Algorithmus –Netzfreundliches Verhalten im grossen Schwarm –Einstrahlungsprognosen/ Über-steuerung unter realen Bedingungen –Zugriff EVU auf schaltbare Lasten **Dauer** –4 bis 9 Monate

18 Monate

Beispiel: nPlug – IBM Research India

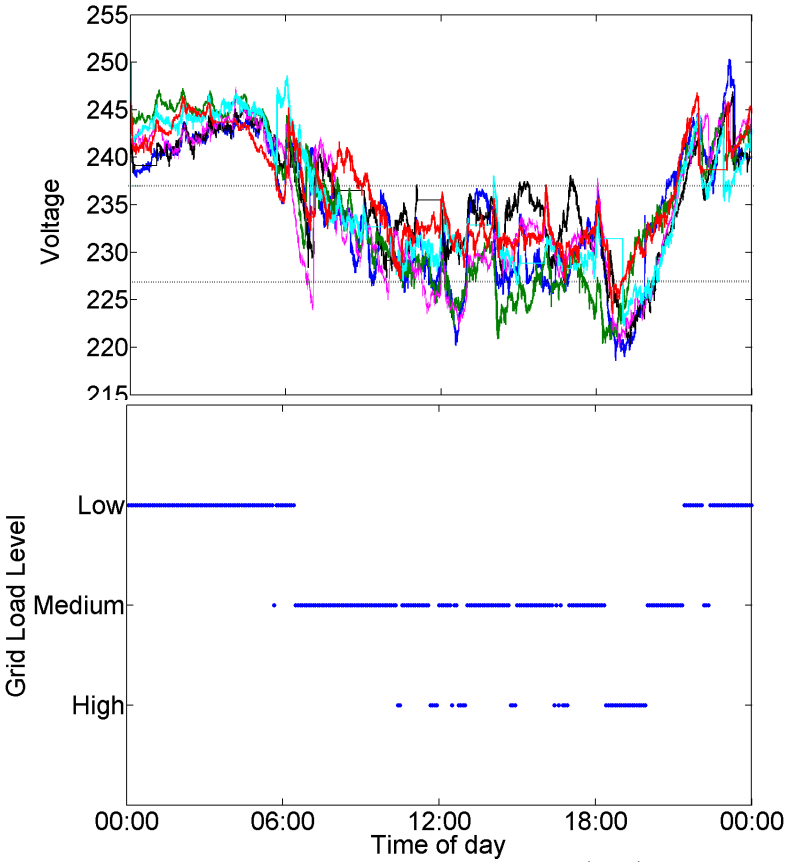
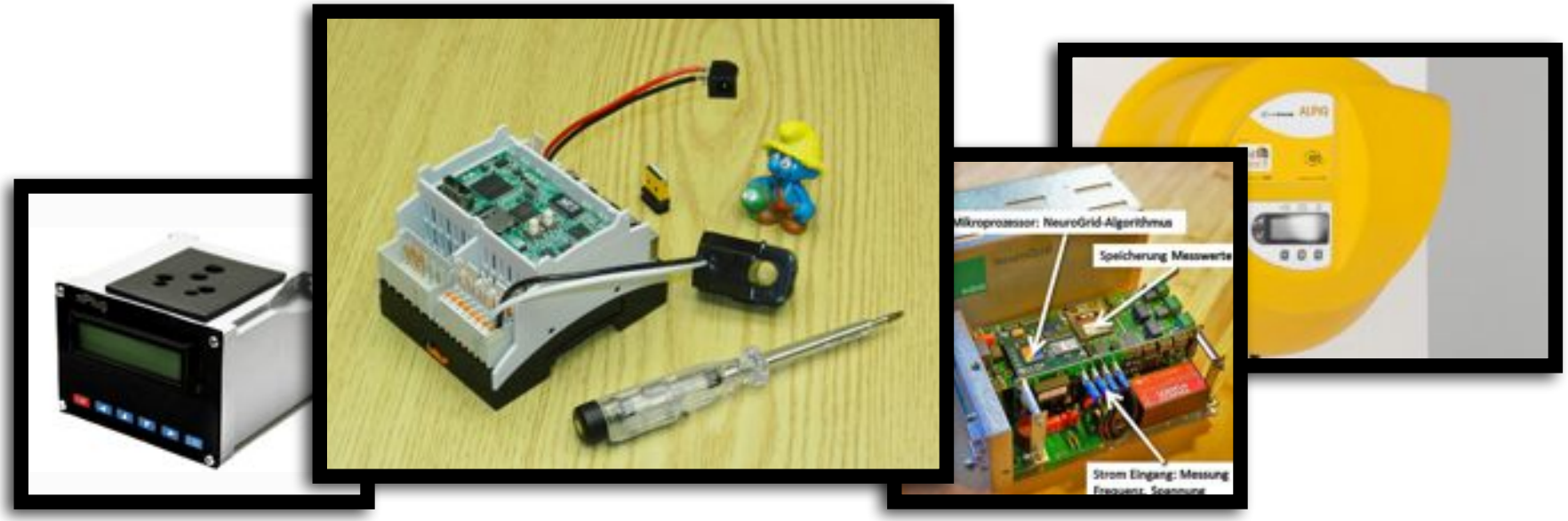


Figure 8: Voltage time series for 7 days (top) at an Indian households and the inferred grid load pattern (bottom)

Beispiel: Das Babelbee Projekt

Dezentrales Netzmanagement



beobachtet das “**reale Wetter**” im Stromnetz und handelt automatisch netzstabilisierend.

“**Wettervorhersagen**” helfen die Zukunft im Stromnetz einzuschätzen … sind aber nicht zwingend notwendig.

Dezentrale Stromnetze
und Energiespeicher

Dezentrale Stromnetze und Energiespeicher

... sind mittelfristig die ökonomisch bessere und billigere Lösung.

Merke!

“Das Stromnetz muss auch ohne Computernetze stabil arbeiten.”

100%-EE-Gridcode

Smart Failure!

Merke!

“Wir müssen die **Märkte** der **Physik** anpassen
... und nicht umgekehrt.”

Merke!

“Erzeugung und Speicherung werden auch zukünftig die räumliche Nähe suchen.”

Merke!

“Die Energiewende ist dezentral
... und bleibt dezentral!”

DGS

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.
International Solar Energy Society, German Section

www.dgs.de

Tomi Engel

tomi@objectfarm.org