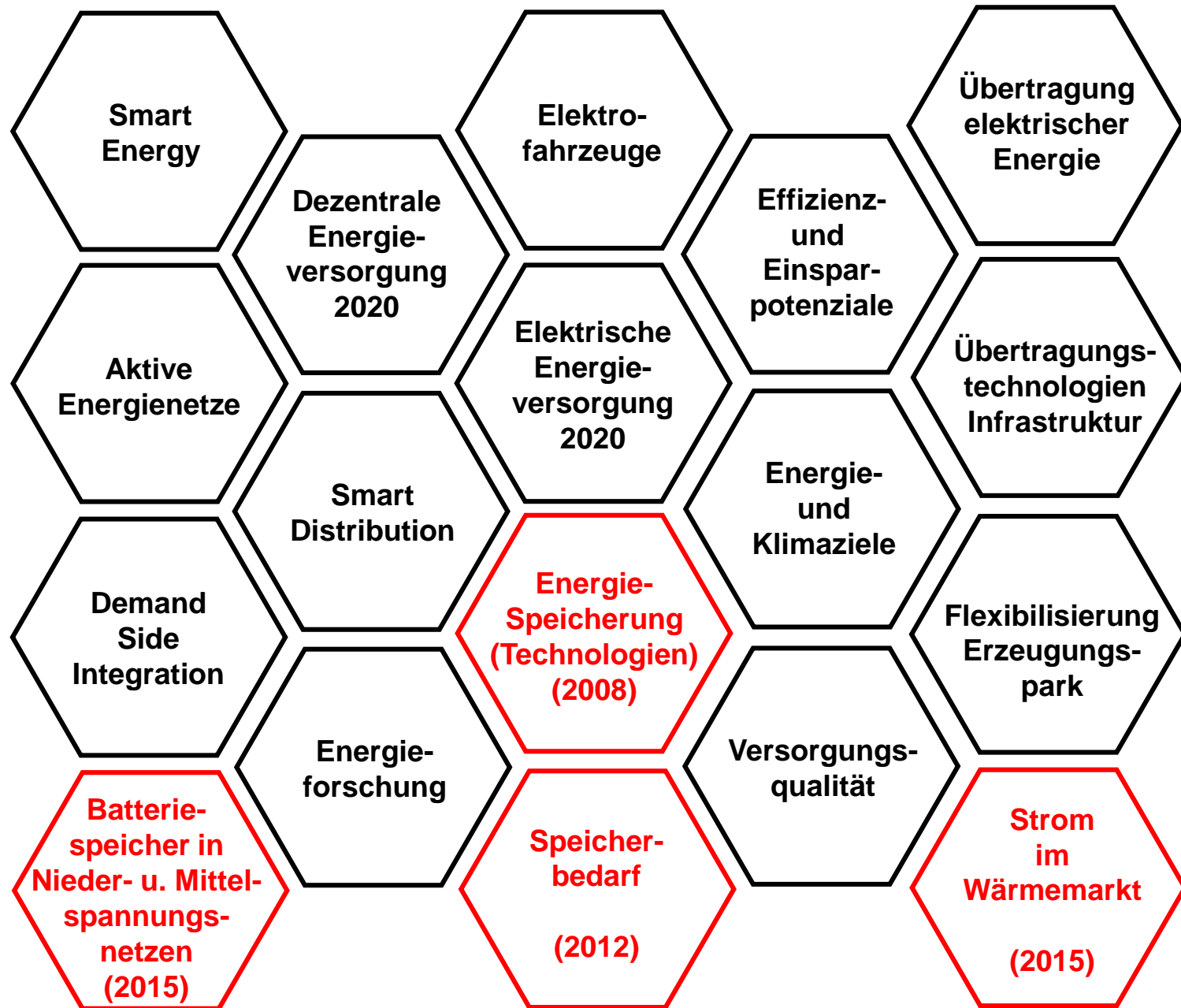


# Speicher oder was?

## Optionen, Herausforderungen und Perspektiven

VDE Kassel

Kassel, 22.09.2016



# Ziele des Energiekonzepts

- Anteil Erneuerbare Energien am **Strombedarf**
  - Ziel bis 2025: 40 % (Erreichung wahrscheinlich)
    - fluktuierend: PV und Wind
    - planbar: Wasser, Biogas, Geothermie
  - Ziel bis 2050: 80 % (Erreichung angestrebt)
- Anteil Erneuerbare Energien am **Endenergiebedarf für Wärme**
  - Ziel bis 2020: 14 % (Erreichung schwierig)
- Reduzierung der **CO<sub>2</sub>-Emissionen**
  - Ziel bis 2050: Reduzierung um 80 % gegenüber 1990
  - erfordert weitgehende Substitution fossiler Energieträger (insbes. bei Strom u. Wärme)

# Die wesentlichen Fragestellungen

- **Welche Probleme ergeben sich mit steigendem EE-Anteil? (lokal, regional, überregional)**
- **Bei welchem EE-Ausbaugrad treten diese auf?**
- **Welche Abhilfemaßnahmen/Flexibilitätsoptionen kommen in Betracht?**
- **Welche Speicheroptionen sind hierfür geeignet?**
- **Wieviel Speicherung wird benötigt (Energie/Leistung)?**
- **Passen die gesetzlichen/regulatorischen/wirtschaftlichen Rahmenbedingungen? Wo besteht Änderungsbedarf?**

## **Pressemeldungen: Lobby-Interessen vor sachlicher Information**

**Der Erfolg der Energiewende ist auf den Ausbau von Speichern dringend angewiesen.**

**Deutschland vor Batteriespeicher-Boom**

**Speicher-Förderung vor dem Aus**

**Neuer Rekord bei der solaren Wasserstoffherstellung**

**Power-to-Gas ist derzeit en vogue**

**Breite Ablehnung gegen Neufassung des KWKG-Gesetzes**

# Motivation für Energiespeicher

**Technische  
Notwendigkeit**

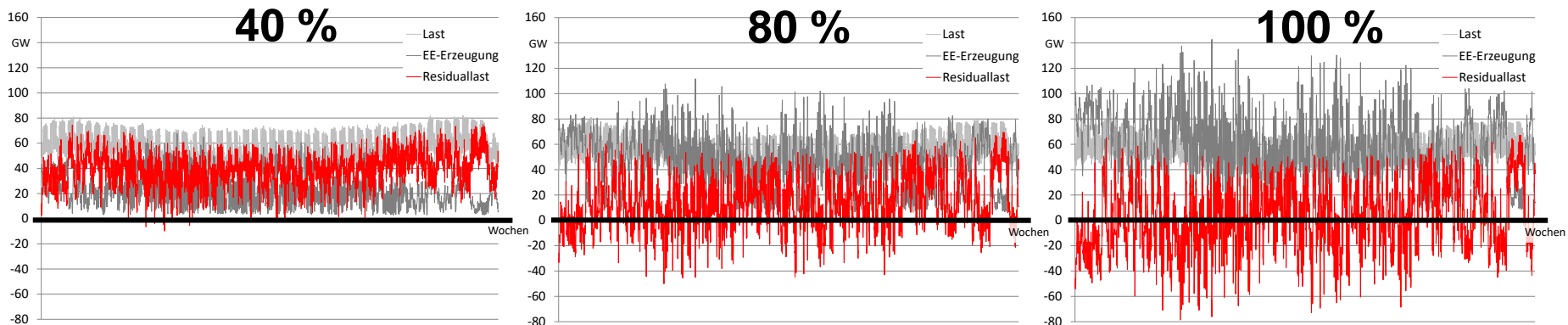
**Ökologischer Nutzen  
energetisch sinnvoll**

**Motivation  
für den Einsatz von  
Energiespeichern**

**Volkswirtschaftlicher  
Nutzen**

**Betriebswirtschaftlicher  
Nutzen**

# Residuallast (Last – EE-Erzeugung)



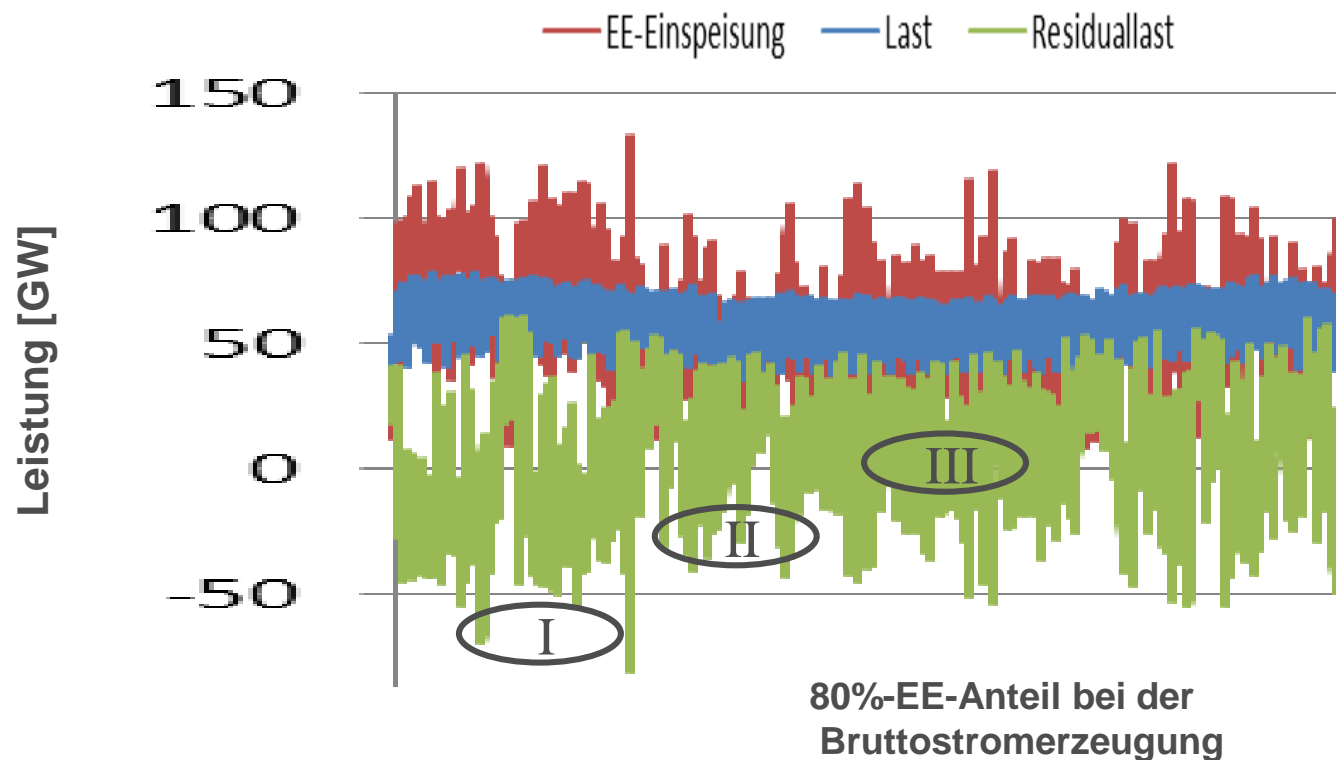
Szenario	Überschuss-häufigkeit [h]	Minimum [GW]	Maximum [GW]
Referenz	0	30,4	76,7
40%	44	-9,8	74,7
80%	2.329	-50,0	69,5
100%	4.271	-80,8	67,1

**EE-  
Überschuss**

**EE-Mangel**

# Charakteristik der EE-Erzeugung und deren Nutzung

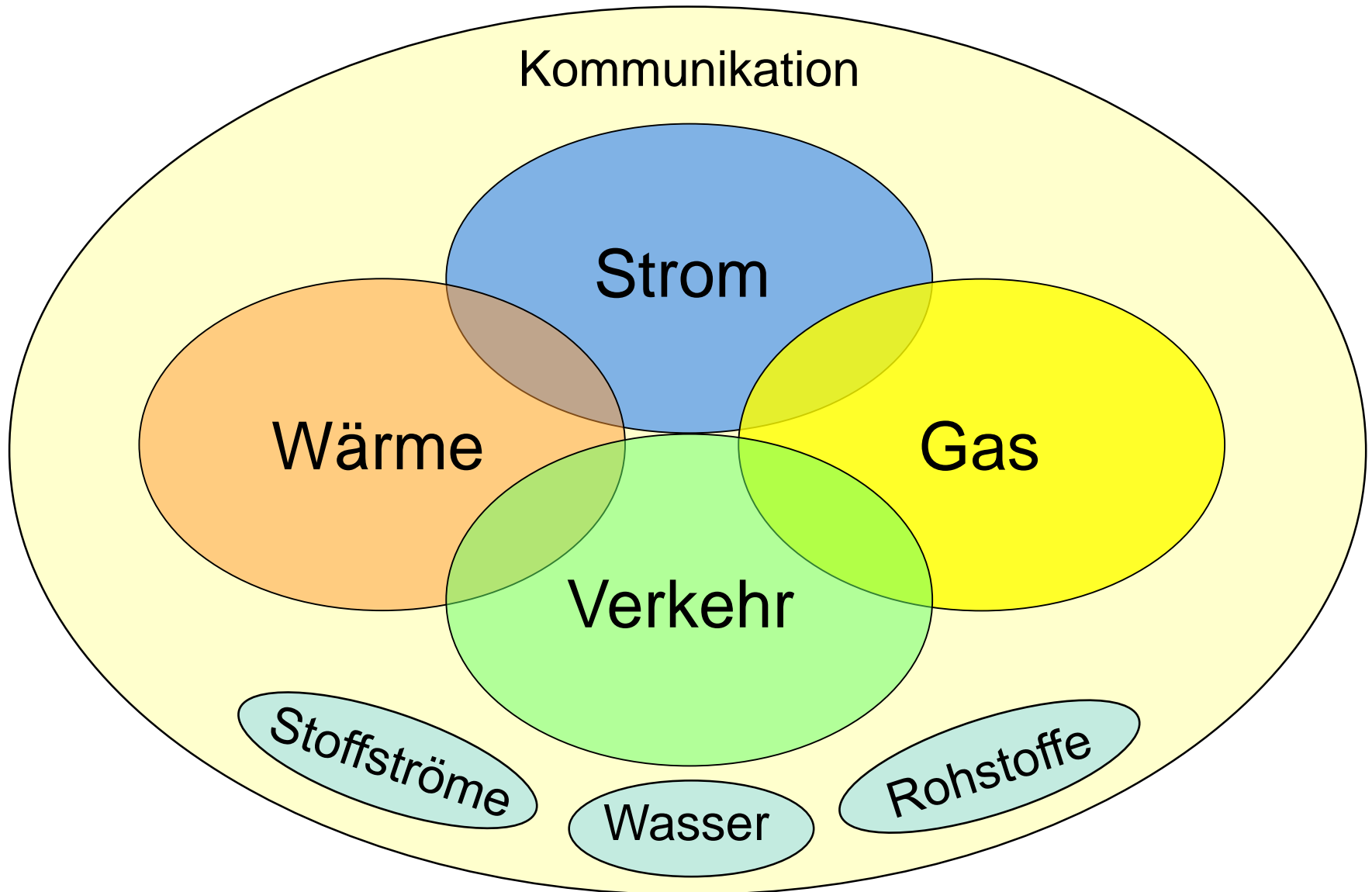
- **Seltene Leistungsspitzen** sind auch zukünftig **wirtschaftlich nicht nutzbar**. (I)
- Eine **wirtschaftliche Nutzung kurzzeitiger EE-Überschüsse** erfordert Maßnahmen mit möglichst **niedrigen Investitionskosten**. (II)
- Bei einer Nutzung in der **Mittel- und Grundlast** sollten Systeme mit einer möglichst **hohen Effizienz** zum Einsatz kommen. (III)





**Die „Energiewende“  
ist mehr  
als nur eine Wende im Strombereich**

# Erweiterung des Flexibilisierungsspielraums durch Kopplung unterschiedlicher Sektoren

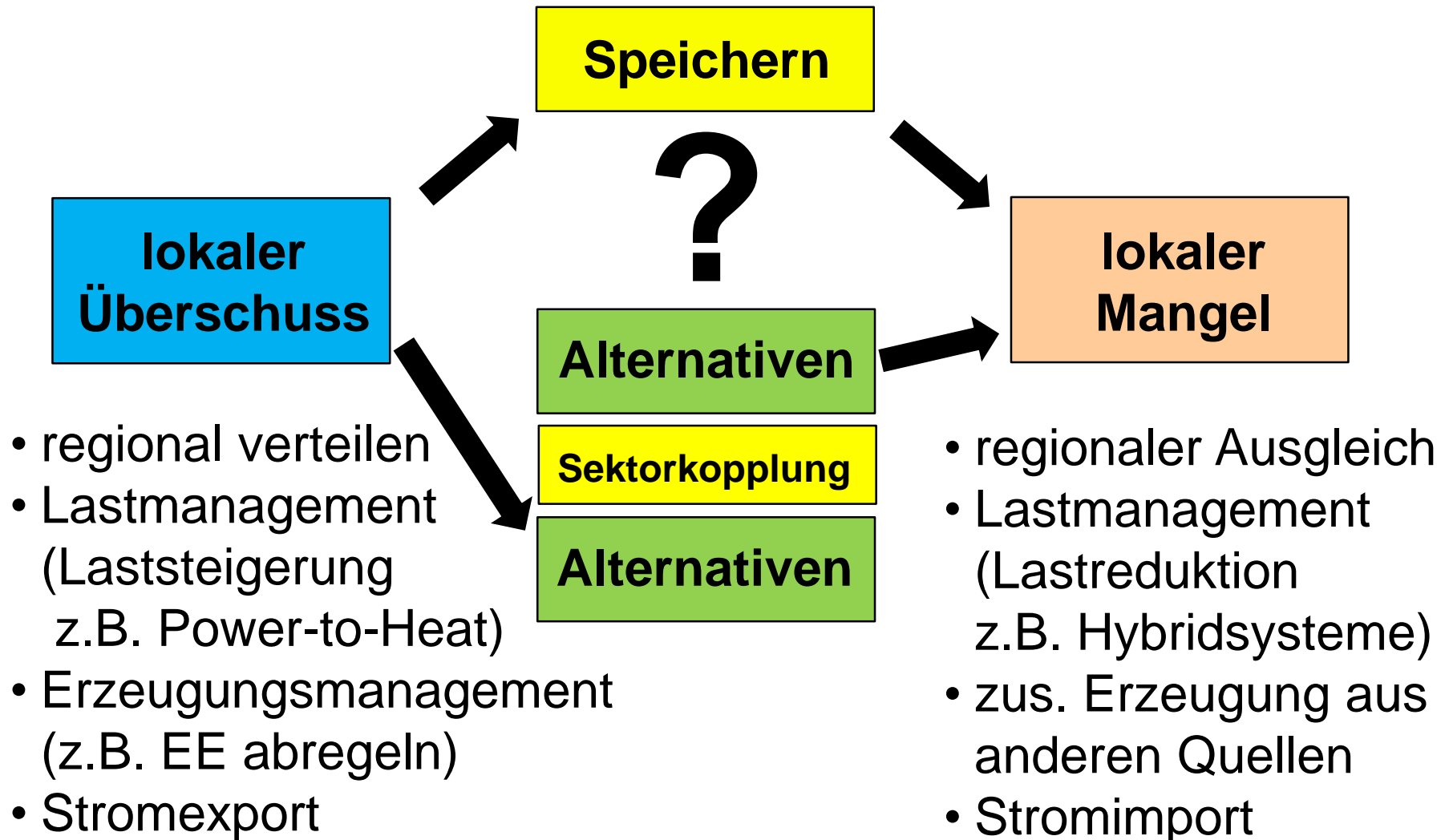


# Paradigmenwechsel

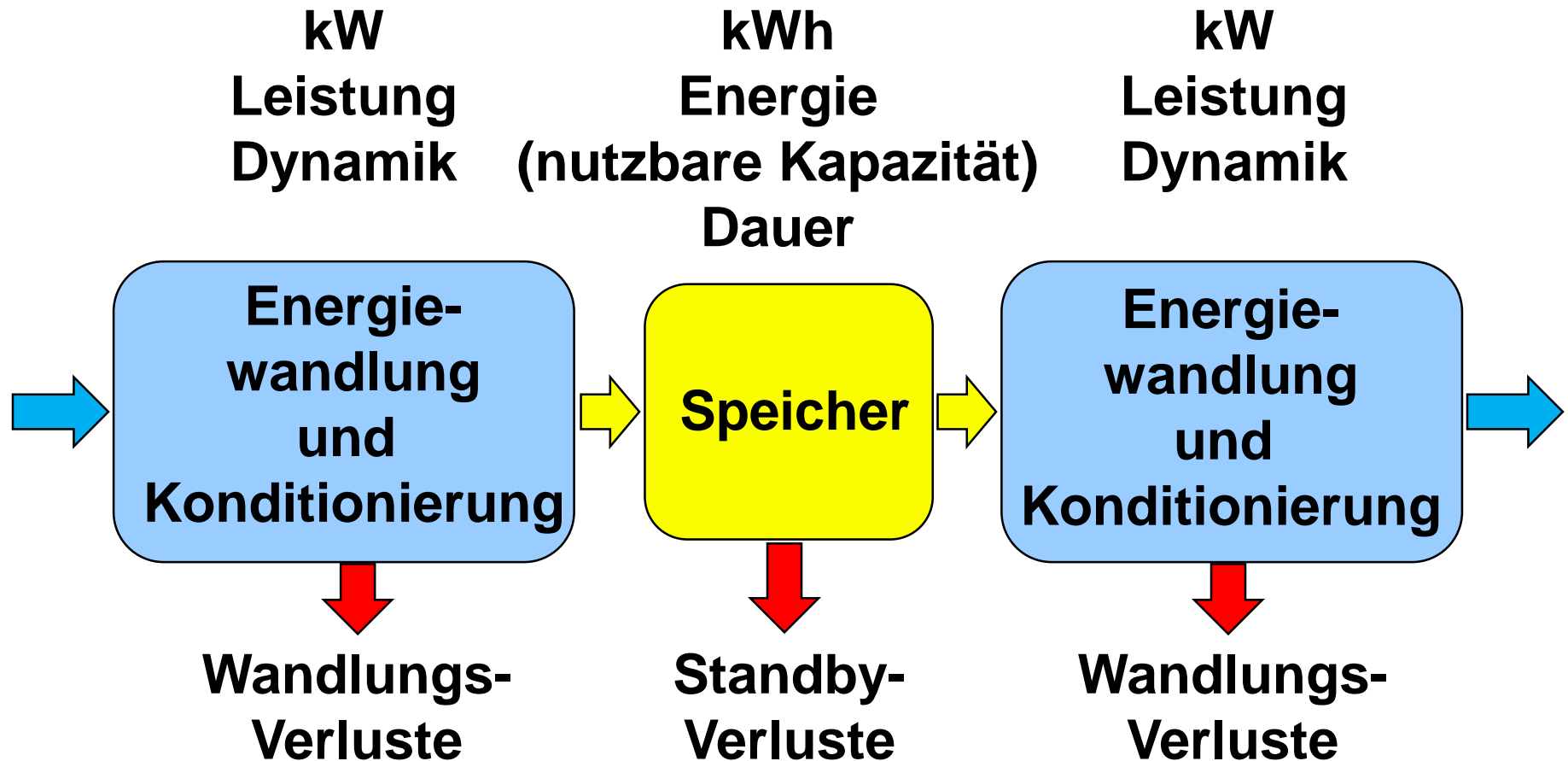
- **Strom** wird zum **Primärenergieträger**, wenn er in EE-Anlagen (Wind, Sonne, Wasser) erzeugt wird!  
→ Stromwärme ist nicht mehr tabu!
- Elektrolytisch aus EE-Strom gewonnener **Wasserstoff** wird zu einem universellen CO<sub>2</sub>-freien Energieträger für **vielseitige Nutzung** und **Speicherung**!
- **Methan** (synthetisches Erdgas) wird zum **Sekundärenergieträger**, wenn es aus elektrolytisch gewonnenem Wasserstoff erzeugt wird!
- **Effizienz** hat auch in Szenarien mit hohen EE-Anteilen **oberste Priorität** (Flächennutzung, Kosten)  
„Was nicht gebraucht wird, muss auch nicht erzeugt werden!“

# Speichern oder was?

Dauer, Verluste, Kosten

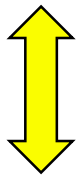


# Funktionsblöcke der Energiespeicherung



# Die zwei Seiten der Speicherung

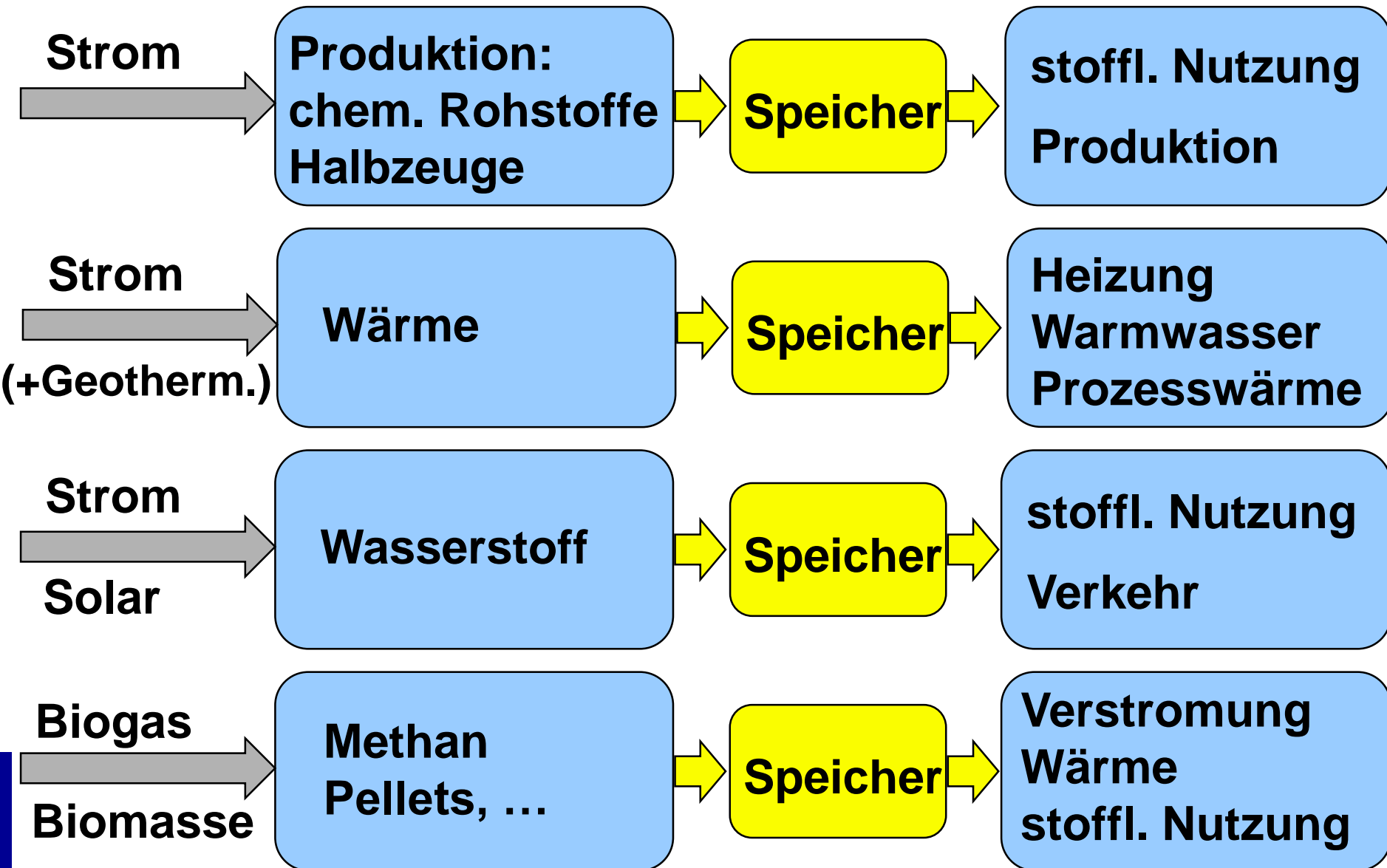
- **Was kann/soll gespeichert werden?** (Strom, Wärme, Biogas ...)
- **Wann kann/soll/muss der Speicher gefüllt werden?**
- **Wo kann/soll der Speicher gefüllt werden?**
- **Wie schnell soll/kann der Speicher gefüllt werden?**



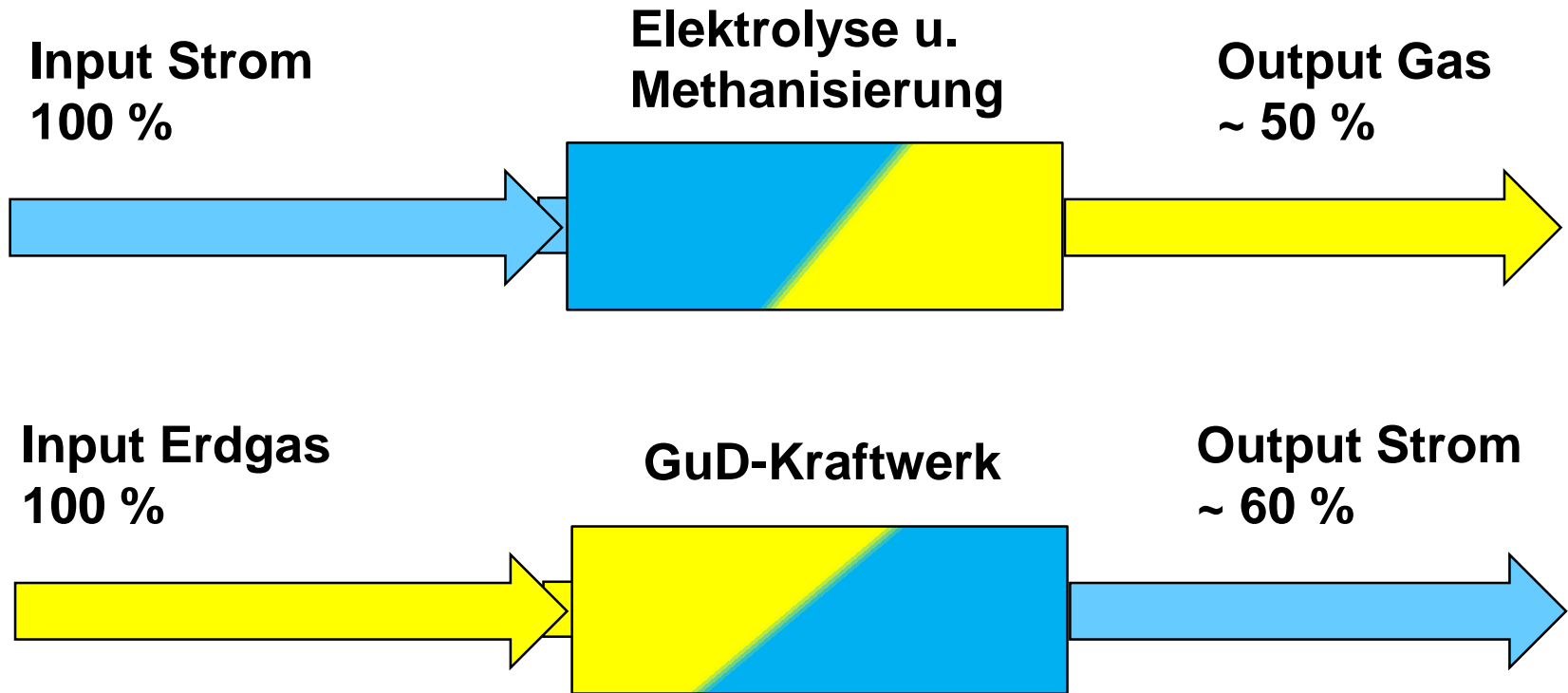
**Welcher Speicher wird benötigt?**  
**(Typ, Kapazität, Leistung, ...)**

- **Wozu soll der Speicherinhalt genutzt werden?**  
(Strom, Wärme, Mobilität, Produkt ...)
- **Wann wird der Speicherinhalt benötigt?**
- **Wo wird der Speicherinhalt benötigt?**
- **Wie schnell soll/kann der Speicher entladen werden?**

# Erweiterte Definition der Speicherung



# Energiewandlung ist immer verlustbehaftet



- **Möglichst den jeweiligen Primärenergieträger direkt nutzen!**
- **Zusätzliche Energiewandlungen sind nach Möglichkeit zu vermeiden, sofern nicht unbedingt erforderlich!**



# Versorgungssicherheit

## Speichermedien:

Öl / Kohle / Erdgas

Biomasse/-gas

Wasser (Saisonspeicher)

Wasserstoff

Synthese-Methan

Erdwärme

## Stromerzeuger:

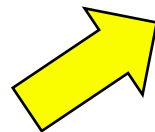
Kraftwerk (therm./hydr.)

zentral / dezentral

KWK / Brennstoffzelle

für mindestens  
20 Tage !

„Langzeitspeicher“

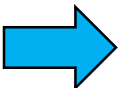


speicherbarer  
Energieträger



gesicherte  
Erzeugung-  
leistung

ac



Wann und wie  
wird der Speicher gefüllt?

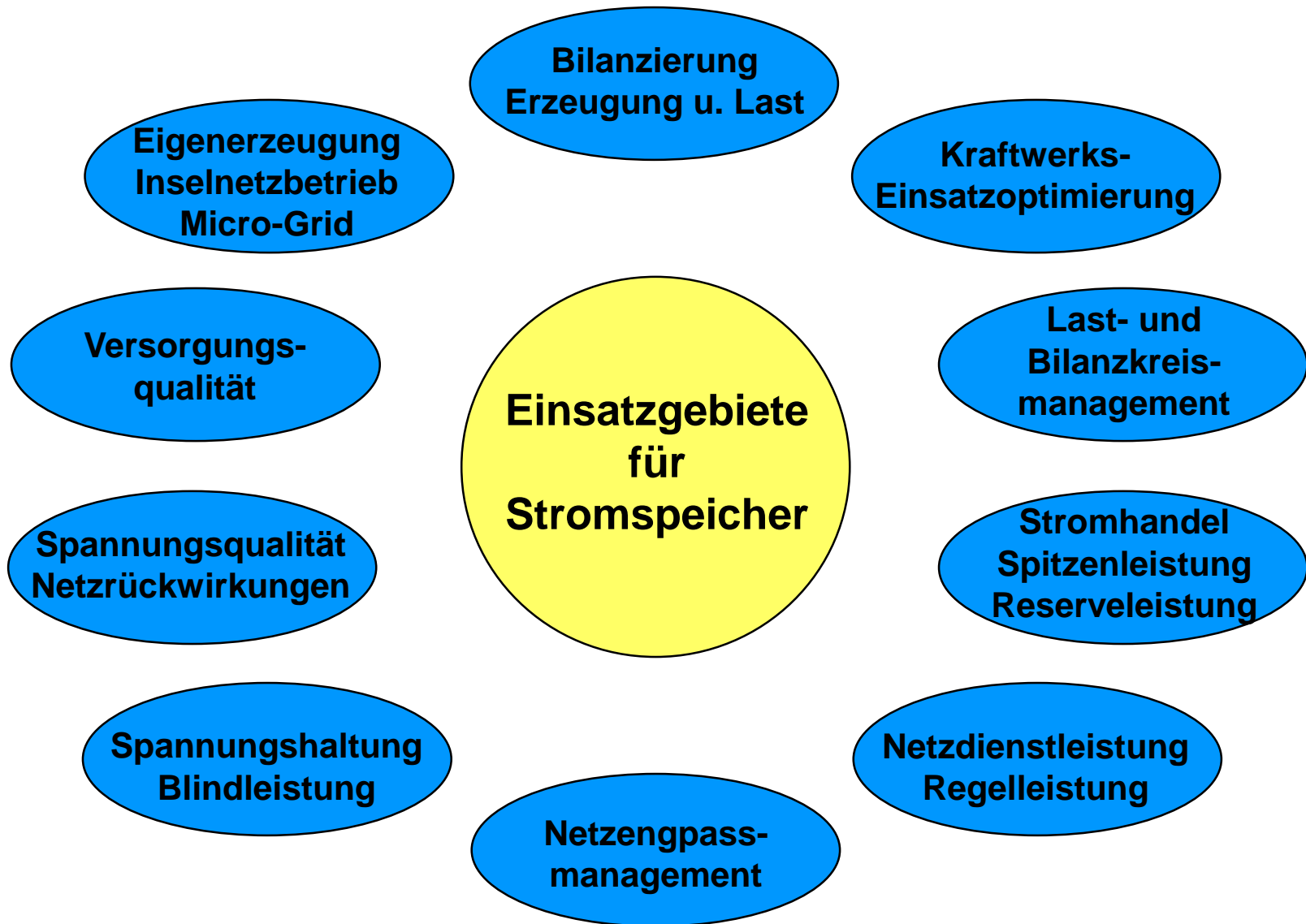
in Höhe der max. Residuallast  
nahezu unabh. vom EE-Ausbau  
(ca. 70... 75 GW)

# Speicherkosten

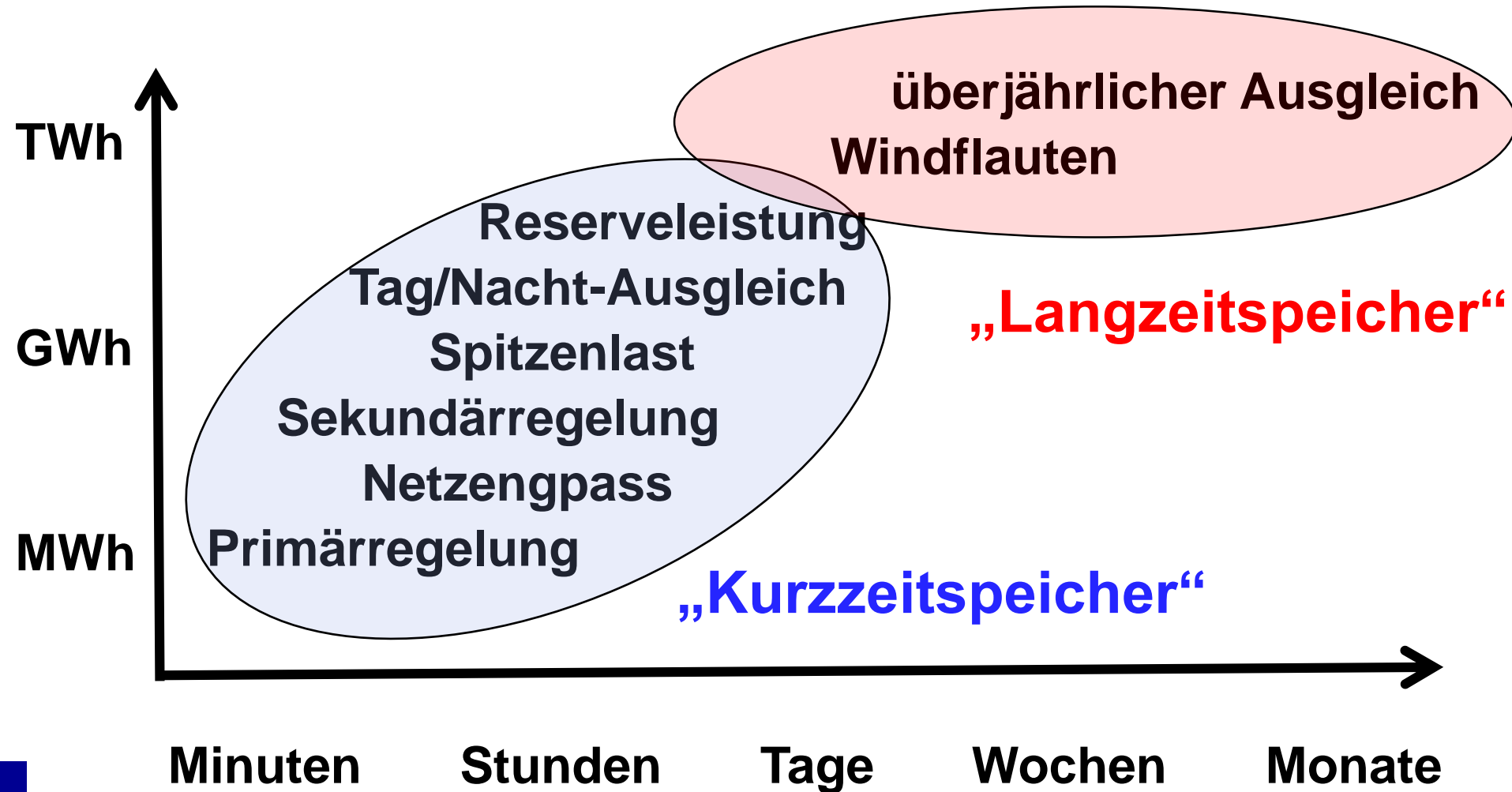
- Die Speicherung ist relativ teuer
- Speicher leben vom Umsatz



# Einsatzgebiete für stationäre Stromspeicher



# Speicherbedarf und Speicherklassifizierung





# **VDE-Studie „Speicherungsbedarf“ (2012)**

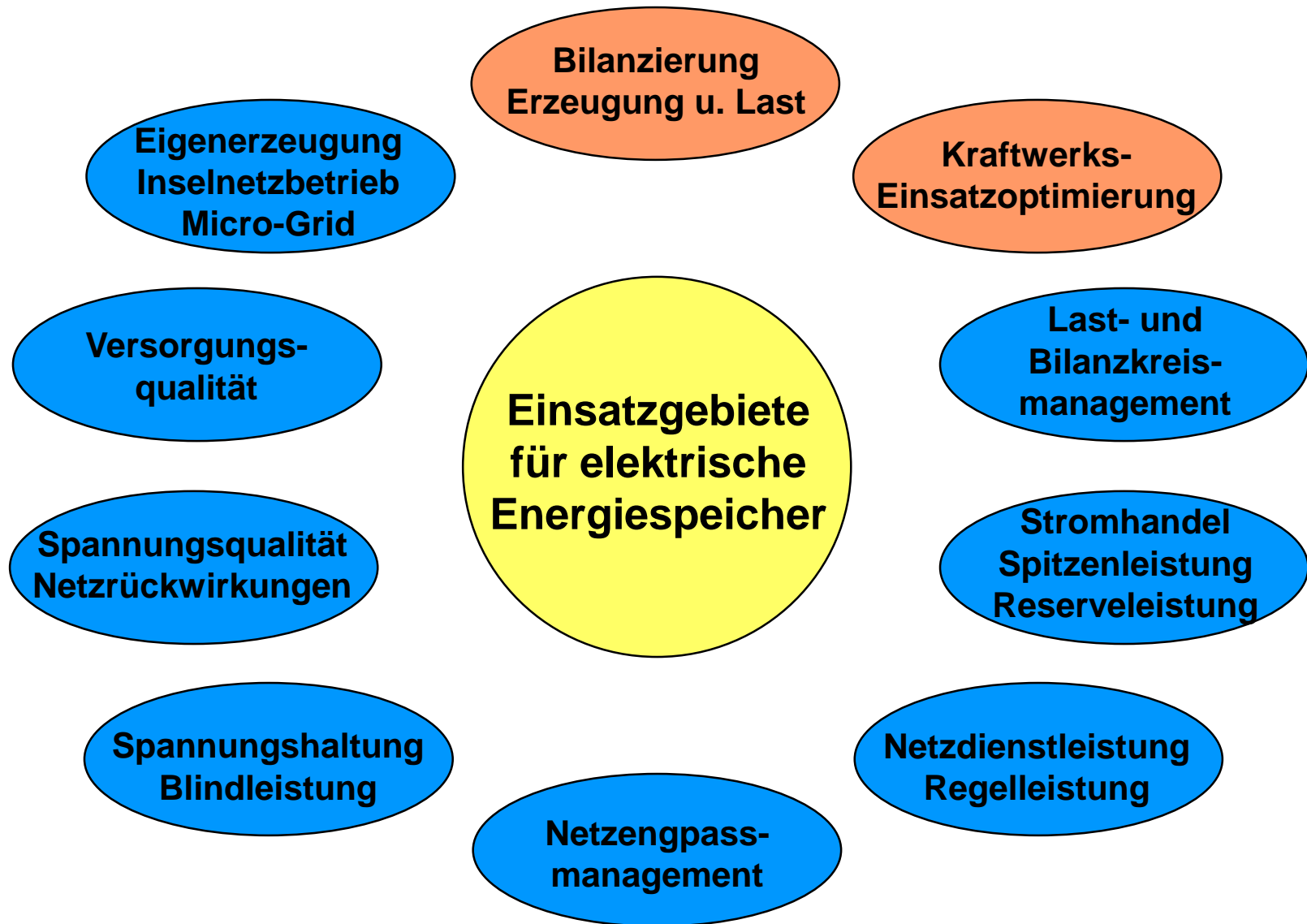
# Ziele der VDE-Studie „Speicherungsbedarf“

- **betriebswirtschaftliche Bilanzierung**  
bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien  
durch Einsatz von **Speichern und flexibler Kraftwerke**
- **Speicherallokation und Netzausbau im Übertragungsnetz**

## **nicht betrachtet werden:**

- **grenzüberschreitende Energieflüsse**
- **Verzögerungen beim Netzausbau (Redispatch)**
- **Speicher im Zusammenhang mit Systemstabilität**  
(Regelleistung, Spannungsqualität, Engpassmanagement, Spannungshaltung, Netzstabilität, Versorgungsqualität, Inselnetzbetrieb ...)
- **steigender Strombedarf im Wärmesektor**
- **Situation in den Verteilungsnetzen**  
(Netz- und/oder Speicherausbaubedarf)

# VDE-Studie „Speicherbedarf“



# Ergebnisse der VDE-Studie

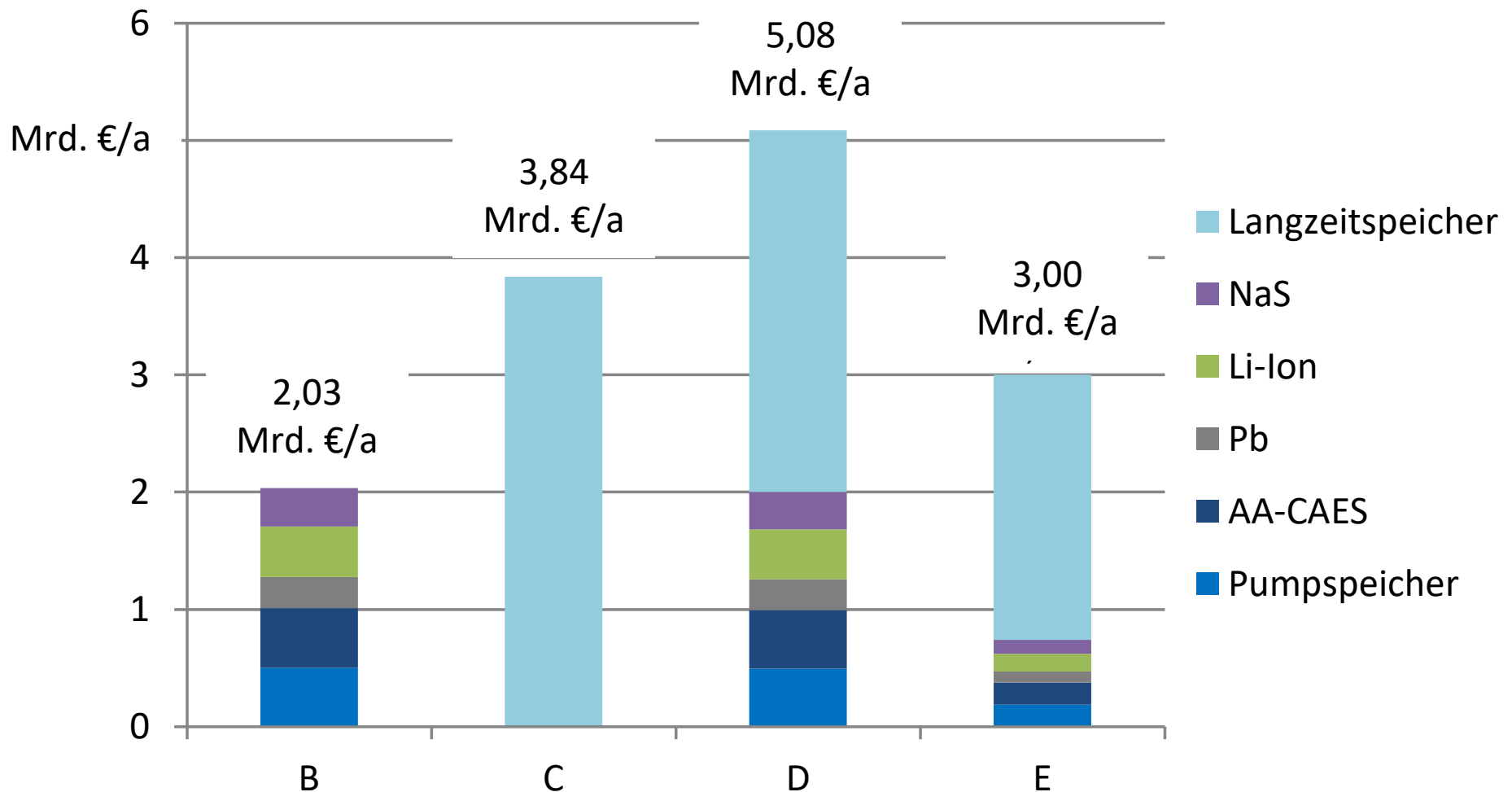
- Bis zu einem EE-Anteil von 40% können auch flexible Kraftwerke und eine geringe Abregelung der EE-Einspeisung den variablen Verbrauch und die schwankende Erzeugung effizient ausgleichen.
- Im 40%-EE-Szenario beträgt der Bedarf für Abregelung von EE-Erzeugung **auch ohne zusätzlichen Speicherausbau** nur etwa **1 Promille**
- Ein **Verzicht auf Speicherausbau** erweist sich unter den hier gewählten Randbedingungen als die **kostengünstigste Variante**



# Ergebnisse der VDE-Studie

- Im 80%-EE-Szenario würde der **Bedarf für Abregelung** von EE-Erzeugung ohne zusätzlichen Speicherausbau etwa **5 Prozent** (etwa 21 TWh/a) betragen.
- Im 80%-EE-Szenario ist daher eine **Kombination** des Ausbaus von Kurz- und Langzeitspeicherung **und** Abregelung von EE-Anlagen empfehlenswert.
- Langzeitspeicherung (hier Wasserstoff: Elektrolyse, Kavernenspeicher, Rückverstromung in GuD) ist sehr teuer

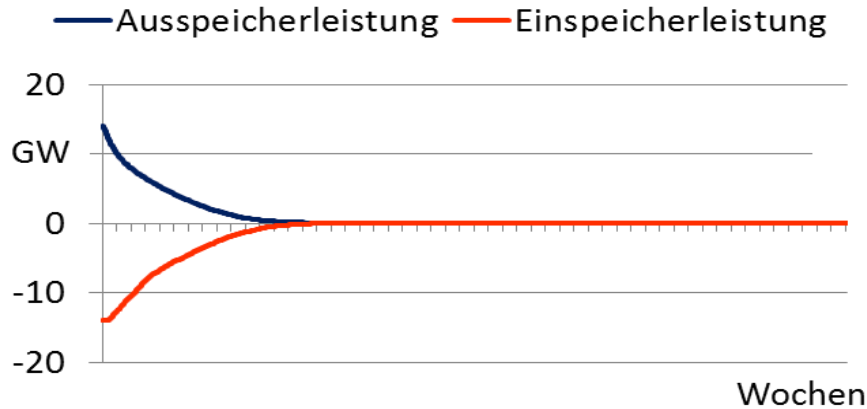
# Ergebnisse der VDE-Studie



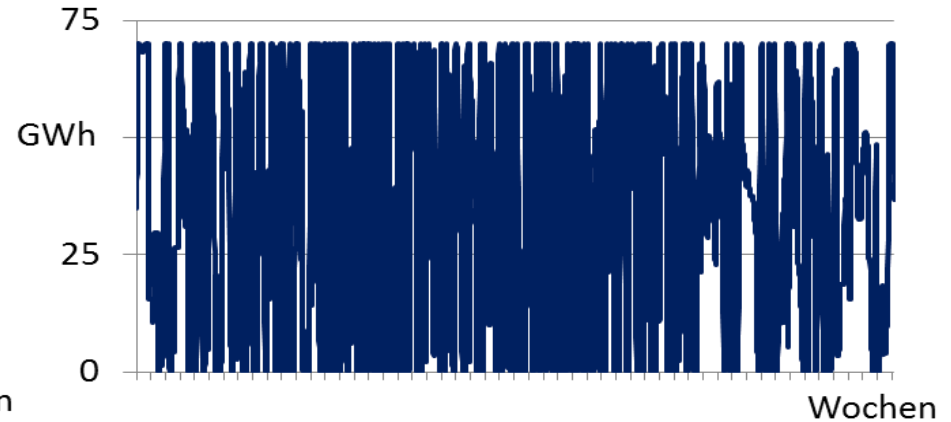
**Aufteilung der annuitätischen Speicherkosten auf Kurz- und Langzeitspeicher für das 80%-Szenario**

# Speicherbetrieb im 80%-Szenario (Variante E)

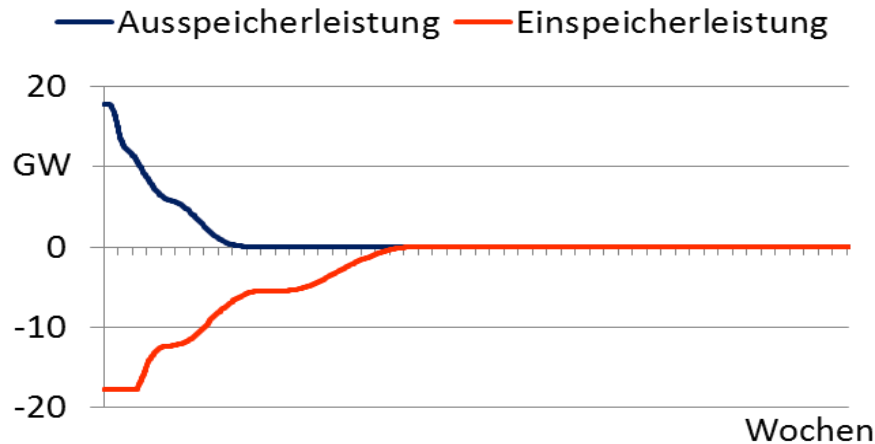
## Kurzzeitspeicher Leistung



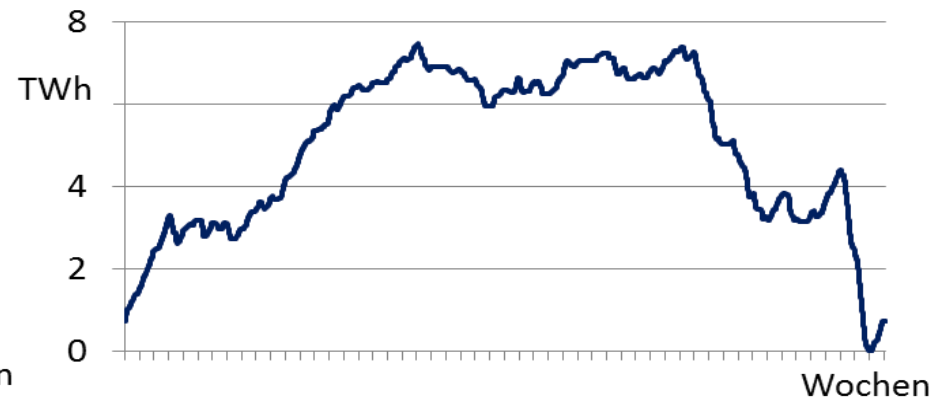
## Kurzzeitspeicher Füllstand



## Langzeitspeicher Leistung



## Langzeitspeicher Füllstand



## Speichernutzung der Variante E im 80%-Szenario

# Speicherbetrieb im 80%-Szenario (Variante E)

Variante E	80%-Szenario				Anzahl äquivalente Vollzyklen pro Jahr
	Leistung [GW]	Kapazität [GWh]	Volllaststunden [h/a]		
			Ein- speichern	Aus- speichern	
Kurzzeit- speicher	14	70	789	630	142
Langzeit- speicher	18	7500	1523	611	2,1

Verluste bei der Kurzzeitspeicherung etwa 2 TWh/a

Verluste bei der Langzeitspeicherung etwa 16 TWh/a

Speichernutzung der Variante E im 80%-Szenario

## Ergebnisse der VDE-Studie

- **Speicher sollen nach Energiemengen und nicht nach Leistungsspitzen ausgelegt werden.**
- **Ein Abregeln der seltenen, aber hohen Leistungsspitzen der fluktuierenden EE ist grundsätzlich wirtschaftlicher als eine Auslegung der Einspeicherleistungen der Speicher auf diese großen Leistungswerte (s. Variante E)**
- **Das optimale Verhältnis aus Erzeugungskapazität, Speicherung und Abregelung ist Gegenstand zukünftiger Forschung.**

## Weitere Erkenntnisse

- **Die Speicherung elektrischer Energie ist mit signifikanten Kosten verbunden.**
- **Speicher „leben“ von möglichst hohen Zyklenzahlen (Dies gilt insbes. bei hohen Investitionskosten.)**
- **Die Speicherung in Batterien ist heute noch wesentlich teurer als große Pumpspeicher – deutliche Kostensenkungspotenziale erscheinen bei Massenfertigung jedoch möglich.**
- **Die Effizienz (Zyklus: Strom – Speicherung – Strom) der gasbasierten Langzeit-Speicher liegt im Bereich von:**
  - 35...40 % bei Wasserstoffsystemen**
  - 25...30 % bei zus. Methanisierung**

**Vorstellung der neuen VDE-Studien:**

**Batteriespeicher in der Nieder- und Mittelspannungsebene**

**und**

**Potenziale für Strom im Wärmemarkt bis 2050**

## Unterschiede

### Dezentrale Batteriespeicher

- Ziel: Bedarf für Batteriespeicher in der Nieder- und Mittelspannungsebene
- Zeithorizont: 2025
- Methodik:
  - Wirtschaftliche Bewertung möglicher Einsatzfälle für Batteriespeicher und Vergleich mit Alternativen
  - Ausrichtung an vorgegebenem EE-Ausbau-Szenario
- Ergebnisse:
  - Batteriespeicher sind universell einsetzbar; Stromanwendungen stehen dabei im Vordergrund
  - Technisch sind Batteriespeicher für alle untersuchten Anwendungen geeignet

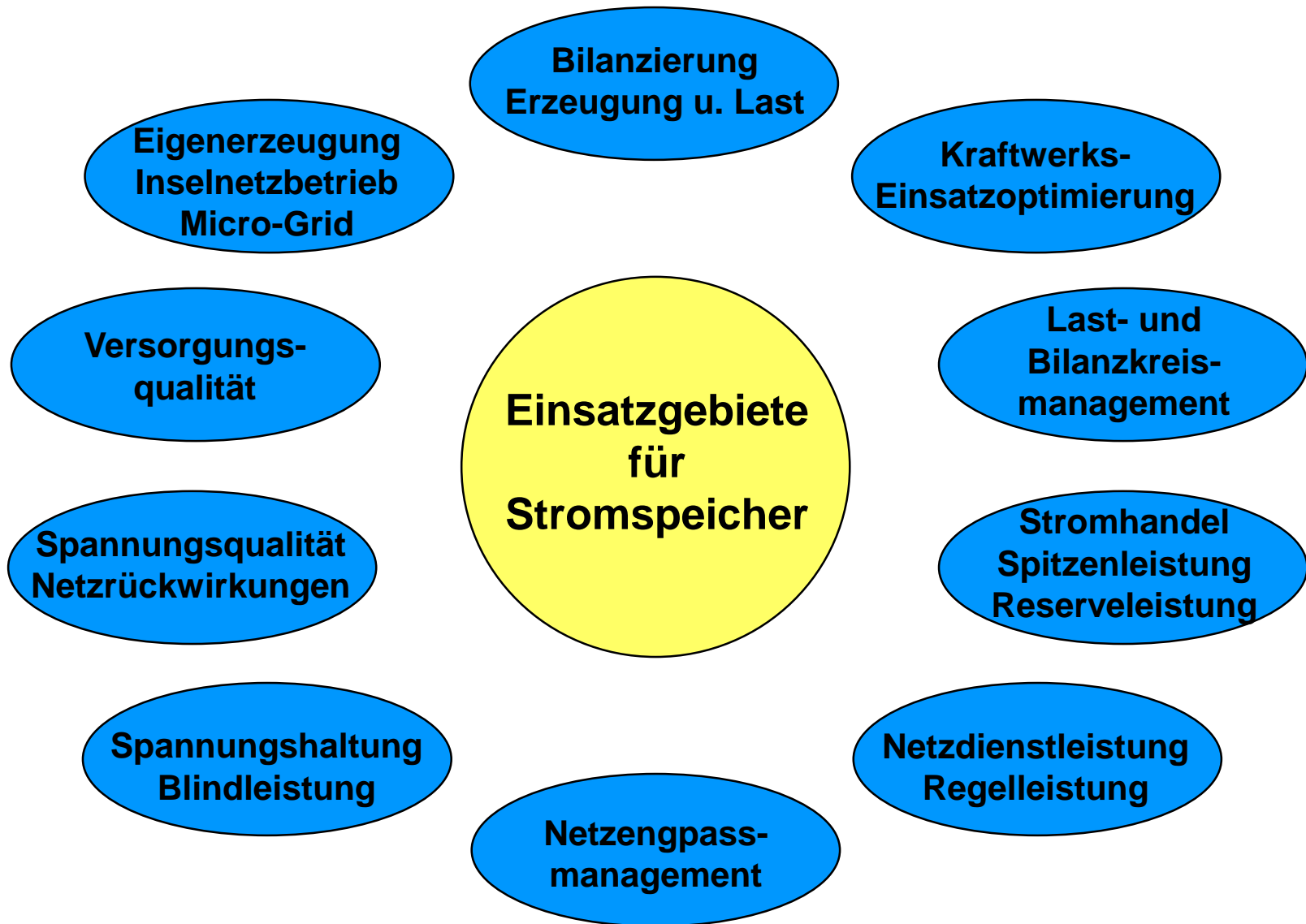
### Strom im Wärmemarkt

- Ziel: Potenzial von Strom im Wärmemarkt als Flexibilitätsoption
- Zeithorizont: 2050
- Methodik:
  - Substitution fossiler Energieträger durch Strom bei verschiedenen Wärmeanwendungen (Power-to-Heat)
  - Erstellung eines möglichen Szenarios für Stromerzeugung und -verbrauch
- Ergebnisse:
  - Direkte Wärmeerzeugung mit Strom u. Wärmespeicherung ist notwendig (Rückverstromung nicht betrachtet)
  - Wesentlicher Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion (Ziel: -80% THG erreichbar)

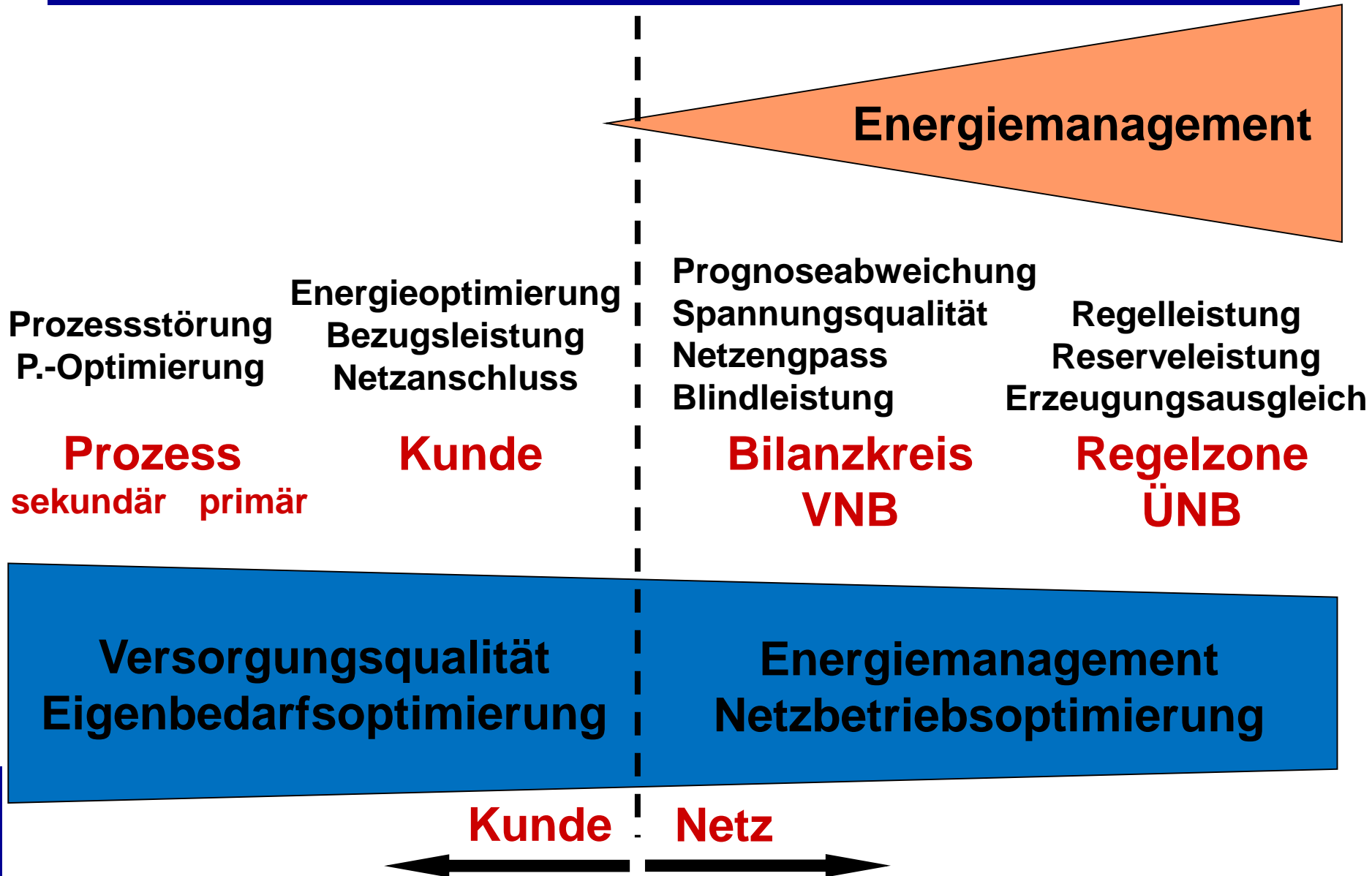


# Batteriespeicher in der Nieder- und Mittelspannungsebene

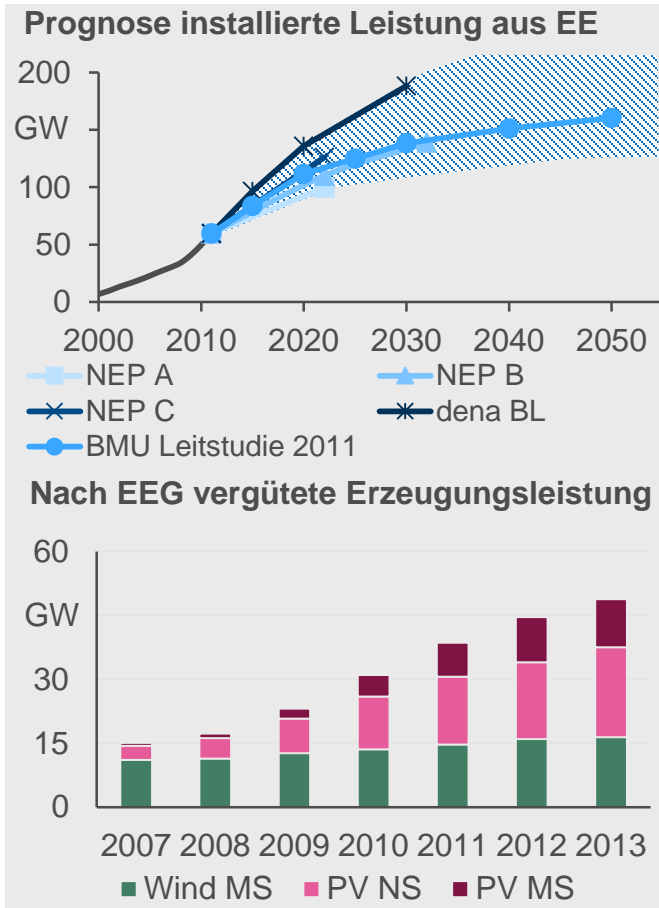
# Einsatzgebiete für Stromspeicher



# Zentrale Speicher vs. dezentrale Speicher



## Hintergrund und Motivation



- Bisherige Studien zeigen, dass **Speicher in den nächsten Jahren für den bilanziellen Ausgleich nicht notwendig sind** da andere, günstigere Flexibilitätsoptionen zur Verfügung stehen.
- Weitere Anwendungsfälle für Speicher sind insbesondere in Verteilnetzen existent, wurden aber bisher nicht umfassend untersucht.
- Viele Verteilnetze stehen vor Herausforderungen durch die Integration dezentraler Erzeugungsanlagen **wobei Speicher sowohl positiven als auch negativen Einfluss haben könnten**.
- Der Rechtsrahmen ist hinsichtlich Markt vorgegeben, Graubereiche hinsichtlich Einsatz im Netzbetrieb
- **Wirtschaftlichkeit von Speichern in Anwendungsfällen sowie eventueller Einfluss auf Verteilnetze werden in der Studie untersucht.**

## Ziele und Methodik der Studie

### Betrachtungszeitraum 2014 und 2025

Analyse  
Rechtsgrundlagen  
Speichereinsatz

Analyse Märkte und  
Netz(ausbaukosten)

Technisch-wirtschaftliche  
Analyse Grundlagen  
Stromspeicher

Fokussierung auf  
Batteriespeicher im  
Rahmen dieser Studie

### Definition der Anwendungsfälle

Analyse möglicher  
Anwendungsfälle

Expertenauswahl  
Anwendungsfälle

### Spezifikation Batteriespeichersysteme

Auswahl geeigneter Batteriespeicher,  
typische Auslegung je nach Anwendung und  
resultierende Kosten

### Simulation der Anwendungsfälle

Simulationsmethodik  
für jeden  
Anwendungsfall

Wirtschaftlichkeit  
jedes  
Anwendungsfalls

Kombination von  
Anwendungsfällen

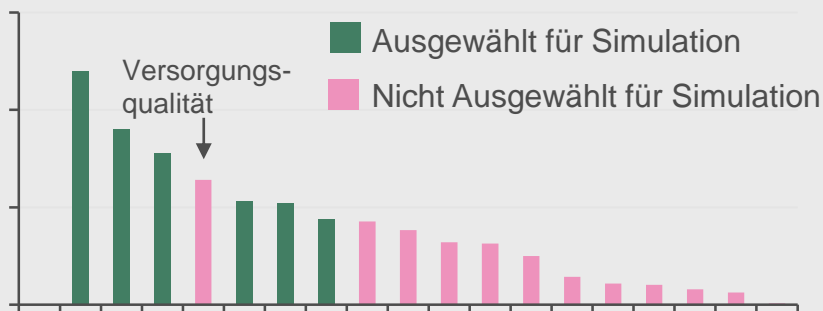
### Fazit und Handlungsempfehlungen

## Anwendungsfälle und Technologien

### Anwendungsfälle

- Expertenbefragung zur Auswahl der relevantesten Anwendungsfälle

#### Auswertung Expertenbefragung

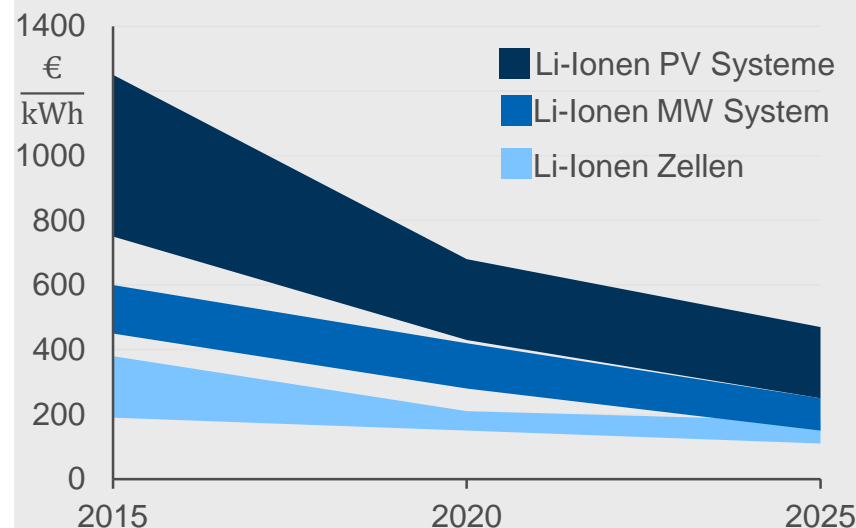


- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eigenverbrauchs-optimierung                     <ul style="list-style-type: none"> <li>• Haushalt</li> <li>• Gewerbe</li> </ul> </li> <li>▪ netzferne Versorgung</li> <li>▪ Primärregelleistung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fahrplanenergie, Sekundär- und Minutenreserve</li> <li>▪ Vermeidung bzw. Verzögerung von Netzausbau</li> </ul> |
|---|---|

### Technologien

- (SWOT-)Analyse verschiedener Batteriespeichertechnologien
- Fokus auf Blei- und Lithium-Technologie im Rahmen der Simulation der einzelnen Anwendungsfälle

#### Prognose der Preisentwicklung

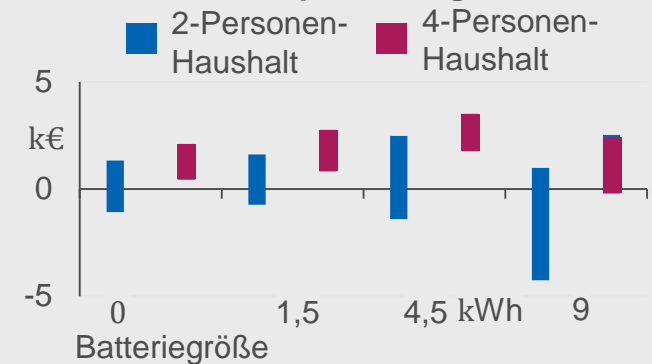


## Simulationsergebnisse der Anwendungsfälle I/III

### Eigenverbrauchsoptimierung Haushalt

- Eigenverbrauchsoptimierung heute nur in Einzelfällen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten lohnenswert
- Zukünftige Wirtschaftlichkeit sehr stark von Höhe und Zusammensetzung des Strompreises abhängig
- Ohne zusätzliche Restriktion keine positiven Effekte auf Verteilnetze

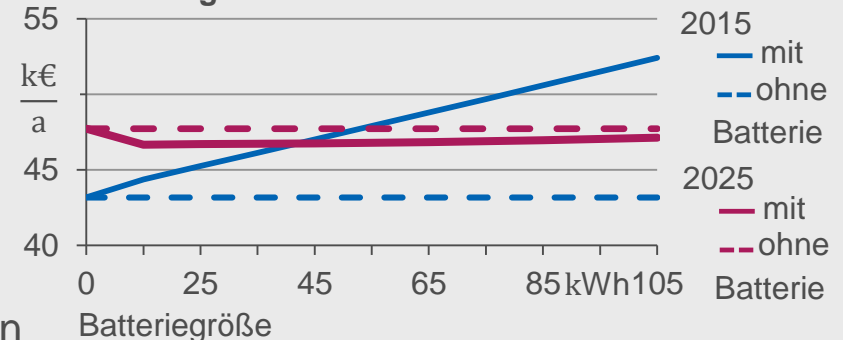
Beispielhafte Barwertbetrachtung für 2025 Haushalt mit 4 kWp PV-Anlage<sup>2</sup>



### Eigenverbrauchsoptimierung Gewerbe

- Ein Einsatz von Speichern zur Reduktion der Leistungspreiskosten ist heutzutage unwirtschaftlich.
- Bei Gewerbebetrieben mit PV-Anlagen Speicher heute unwirtschaftlich, zukünftige Wirtschaftlichkeit abhängig von Speicherkosten

Annuitätische Kosten eines Supermarktes mit PV-Anlage<sup>3</sup>



<sup>2</sup>Annahmen: hohe Technologiepreise, konstanter Strompreis 36ct./kWh (netto) ab 2025, Energieverbrauch (min/avg/max)kWh 2-Personen (1300/2450/3500) 4-Personen (2900/4300/5800)

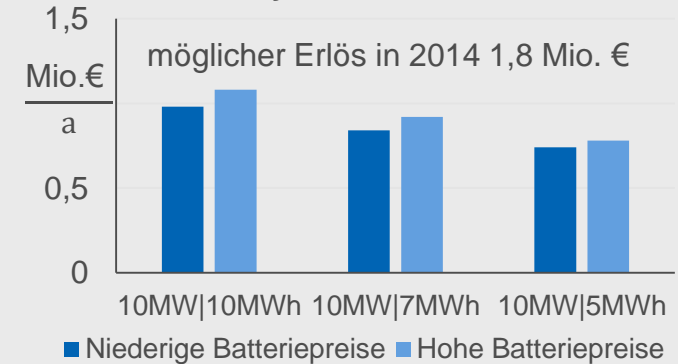
<sup>3</sup>Annahmen Peakleistung 50 kW, Jahresenergiebedarf 240 MWh, 100 kW PV, 5% Zinssatz, 2015: Batterie 750€/kWh Stromkosten 25ct./kWh Feed-In 10ct./kWh 2025 Batterie 200€/kWh Stromkosten 25ct./kWh Feed-In 5ct./kWh

## Simulationsergebnisse der Anwendungsfälle II/III

### Erbringung von Primärregelleistung

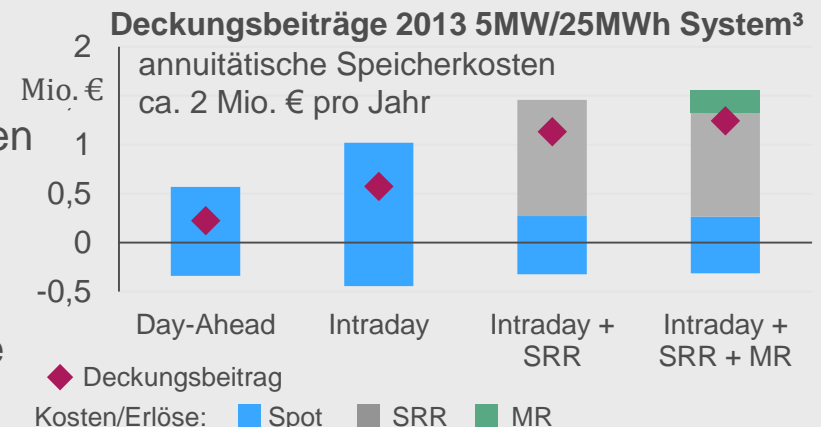
- Anwendungsfall heute an der Grenze der Wirtschaftlichkeit
- Stark begrenztes Marktpotential
- Zukünftige Reservepreise nur schwer prognostizierbar
- Sinkende Speicherpreise würden bestehende Wirtschaftlichkeit verbessern

Annuitätische Kosten eines Li-Ionen Systems<sup>2</sup>



### Vermarktung an Fahrplan und Reservemärkten

- Einsatz bei heutigen Speicherkosten, Marktpreisen und Präqualifikationsanforderungen nicht wirtschaftlich
- Anpassung der Präqualifikationsanforderungen hinsichtlich vorzuhaltender Energiemenge könnte Wirtschaftlichkeit verbessern.



<sup>2</sup>Niedrige Batteriepreise 450€/kWh Hohe Batteriepreise 600€/kWh

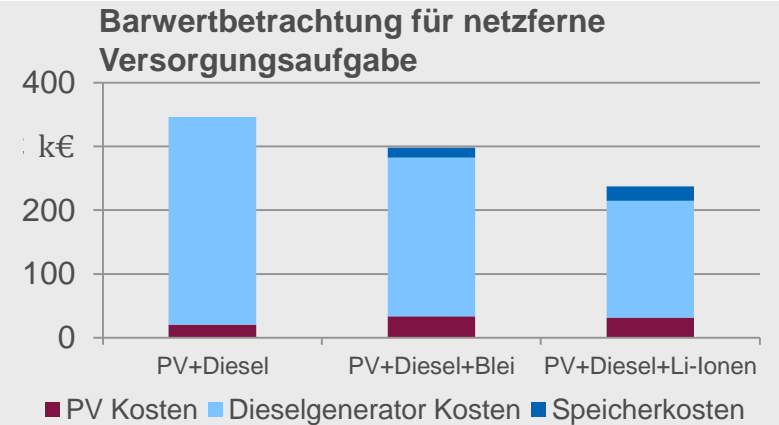
<sup>3</sup>Spotmarkt: Optimierung gegen historische Daten 2013 unter Perfect Foresight; Reserve Märkte historische Daten 2013 Gebotsstrategie (siehe Studie), SRR: Sekundärregelreserve, MR Minutenreserve



## Simulationsergebnisse der Anwendungsfälle III/III

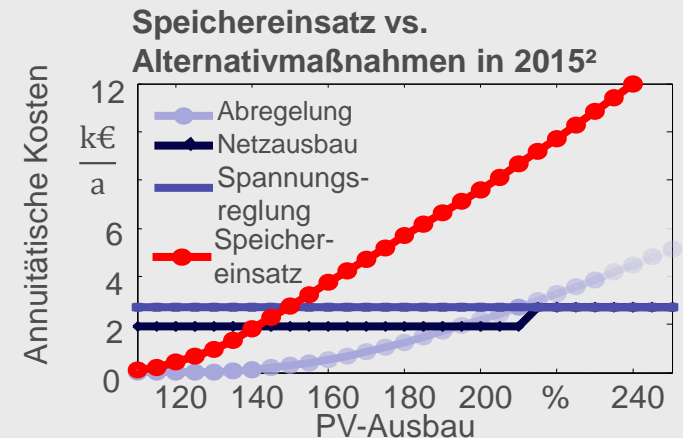
### Versorgung netzferner Verbraucher

- Kombination von dargebotsabhängigen Erzeugungstechnologien und Speichern ermöglicht wirtschaftlichere und umweltfreundlichere Versorgung.
- Speicher für Versorgung netzferner Verbraucher sind bereits heute wirtschaftlich.



### Vermeidung / Verzögerung von Netzausbau im Verteilnetz

- Kosten für Speicher zur Vermeidung von Netzausbau zu meist deutlich teurer als alternative Maßnahmen und regulatorisch nicht geregelt
- Unter Annahme zukünftiger regulatorischer Anpassungen könnte netzdienlicher Einsatz eine gute Option darstellen



<sup>2</sup>Annahmen: 0,4 kV, nur ein Abgang, Abgangslänge 1,6 km (99%-Quantil der Leitungslängen), 150mm<sup>2</sup>, 4% Spannungsband, Kosten für Abregelung basierend auf EEG-Vergütung

## Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

- Als Stromspeichertechnologie für den breiten Einsatz in Nieder- und Mittelspannungsnetzen werden in den nächsten 10 Jahren nur Batteriespeicher gesehen.
- Die hohe technologische Flexibilität von Batterien erlaubt vielfältige Anwendungen, z.B. Eigenverbrauchsoptimierung, Erbringung von Systemdienstleistungen, Verringerung des Netzausbaubedarfs u.a.
- Bereits heute kann sich der Batterieeinsatz für einige Anwendungsfälle wirtschaftlich darstellen, z.B. Erbringung von Primärregelleistung oder netzferne Versorgung.
- Die Preise für Batteriespeicher entwickeln sich dynamisch, so dass zukünftig eine Ausweitung der wirtschaftlichen Anwendungsfälle zu erwarten ist.
- Der bestehende Rechtsrahmen erschwert die Nutzung von Batteriespeichern durch Verteilernetzbetreiber. Die Regulierung sollte dahingehend weiterentwickelt werden, dass Netzbetreiber Batteriespeicher z.B. zur Vermeidung von Netzausbau errichten und betreiben dürfen.
- Da in den meisten Anwendungsfällen ein netzdienlicher Zusatznutzen ohne große Einschränkung der Wirtschaftlichkeit möglich ist, sollte die Netzdienlichkeit gefordert werden.

## Unter Mitarbeit von:

Thomas Aundrup  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck  
Andreas Becker  
Andreas Berthold  
Dr. Alexander Conreder  
Dr.-Ing. David Echternacht  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel  
Alexander Gitis  
Wolfgang Glaunsinger  
Dr. Holger Hesse  
Prof. Dr.-Ing. Andreas Jossen  
Stefan Kippelt  
Dr. Martin Kleimaier  
Dr. Matthias Leuthold  
Sven Leyers  
Franziska Lietz  
Hauke Loges  
Ghada Merei  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Albert Moser  
Marcus Müller  
Maik Naumann  
Kevin Pasch  
Martin Pokojski  
Prof. Dr.-Ing. Christian Rehtanz  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Dirk Uwe Sauer  
Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner  
Prof. Wenzel  
Univ.-Prof. Dr. jur. Hartmut Weyer  
Prof. Dr.-Ing. Rolf Witzmann  
Gunnar Wrede  
Alexander Zeh  
Jan Zerhusen

Westnetz GmbH  
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
ABB AG)  
EnBW Energie Baden-Württemberg AG  
RWTH Aachen (IAEW)  
TU Braunschweig (elenia) / EFZN  
RWTH Aachen (ISEA)  
Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG)  
TU München (EES)  
TU München (EES)  
TU Dortmund (ie3)  
Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG)  
RWTH Aachen (ISEA)  
Stromnetz Hamburg GmbH  
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
TU Braunschweig (elenia) / EFZN  
RWTH Aachen (ISEA)  
RWTH Aachen (IAEW)  
TU München (EES)  
TU München (EES)  
E.ON Gas Storage GmbH  
Consultant Vattenfall Europe Innovation  
TU Dortmund (ie3)  
RWTH Aachen (ISEA)  
OTH Regensburg (FENES)  
HS-Hannover  
TU Clausthal/EFZN  
TU München (EEN)  
Yunicos AG  
TU München (EEN)  
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH

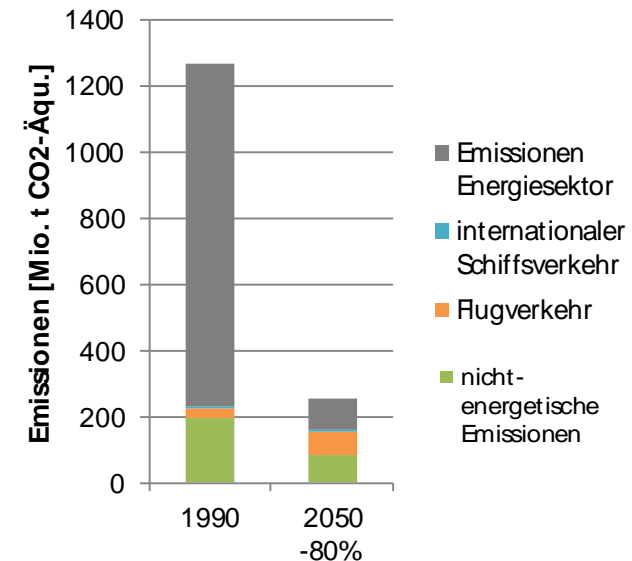
# Potenziale für Strom im Wärmemarkt bis 2050

Wärmeversorgung in flexiblen Energieversorgungssystemen  
mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien

## Hintergrund und Motivation

### Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung

- **Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien (EE) an der Bruttostromerzeugung auf mind. 80% bis 2050**
  - ➔ in VDE-Studien untersucht (z.B. Studie zum Speicherungsbedarf, 2012)
  
- **Reduktion der Treibhausgas-Emissionen (THG) um 80% bis zum Jahr 2050 gegenüber dem Referenzjahr 1990**
  - ➔ Erfordert weitgehende Substitution fossiler Primärenergieträger durch erneuerbare Energien und Effizienzsteigerung in allen Sektoren
  - ➔ Erneuerbare Energien werden zum größten Teil durch Strom erschlossen (Sonne, Wind, Wasser)
  - ➔ Paradigmenwechsel: Strom aus diesen erneuerbaren Quellen wird zukünftig zum Primärenergieträger (keine verlustbehaftete Umwandlung erforderlich)
  - ➔ Einfluss auf den Wärmemarkt ist Gegenstand der vorliegenden Studie



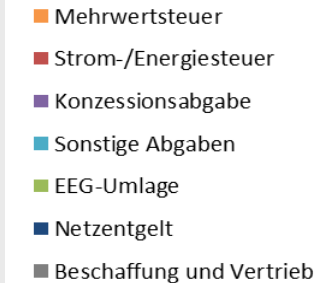
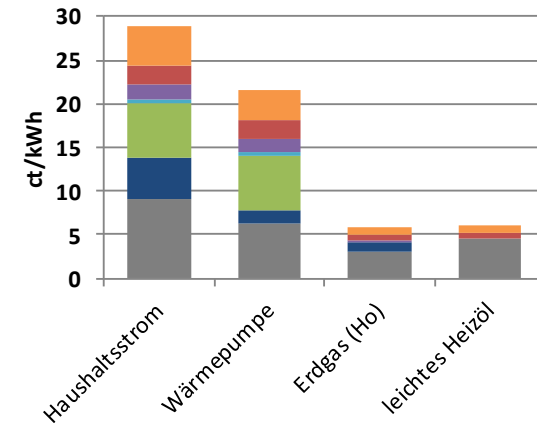
## Ausgangssituation und Randbedingungen

Während der letzten zwei Dekaden hat die Akzeptanz zur Nutzung von Strom für die Wärmeerzeugung stark abgenommen

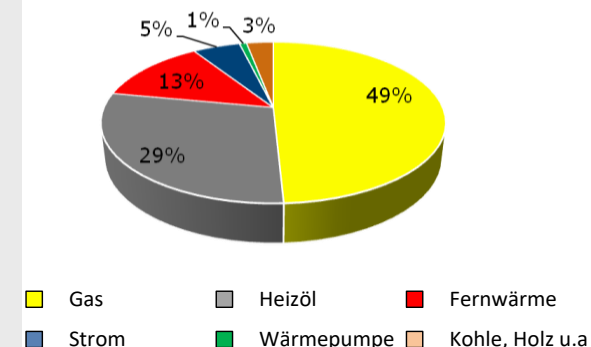
- **aufgrund stetiger Erhöhung der Stromtarife, insbesondere durch Belastung mit Steuern und Abgaben**
  - ➔ lässt sich der Preisunterschied zwischen fossilen Energieträgern und Strom (Faktor 3...4) selbst mit effizienten Wärmepumpen kaum noch ausgleichen
  - ➔ werden Wärmepumpen praktisch nur noch im Neubaubereich nachgefragt (selbst dort stagnierend)
  - ➔ werden sinnvolle Stromwärmeanwendungen nicht realisiert
- **obwohl die Effizienz der Stromerzeugung im Erzeugungsmix ständig steigt: Indikator: „Primärenergiefaktor“ ( $f_p$ )**

Durch EE-Zubau ( $f_p = 0$ ) und effizientere Kraftwerke konnte der Primärenergiefaktor für Strom im Erzeugungsmix von früher 3,0 auf 1,8 (ab 2016) gesenkt werden

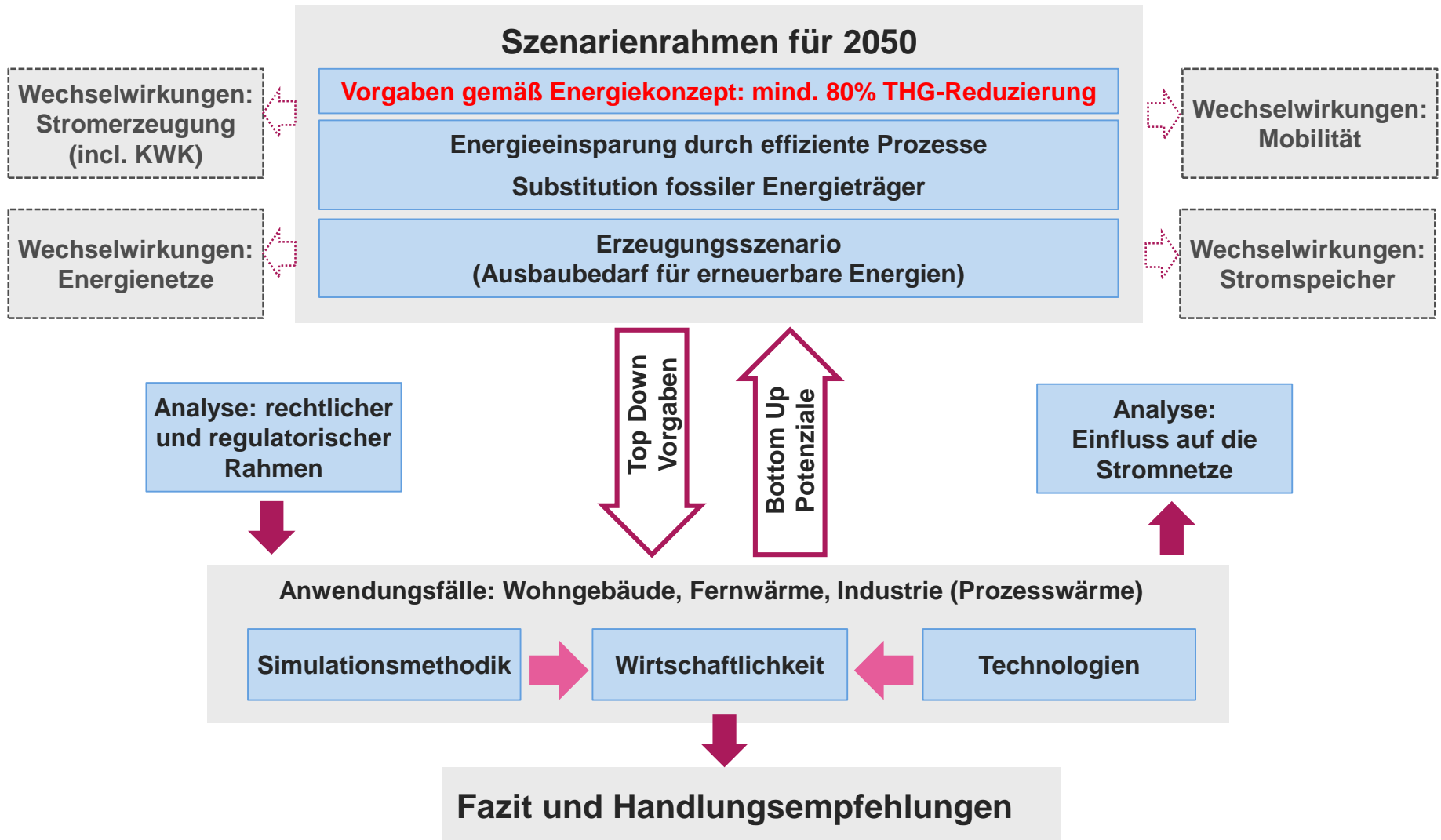
  - ➔ Elektrische Wärmepumpen sind bereits im heutigen Erzeugungsmix effizienter als Brennwertkessel
- **94% des privaten Wärmebedarfs werden heute mit fossilen Energieträgern gedeckt ➔ Substitution fossiler Energieträger im Wärmemarkt ist größter Hebel zur THG-Reduktion**



Beheizungsstruktur im Gebäudebestand 2013



## Ziele und Methodik der Studie



## Technologien für elektrische Wärmeerzeugung und Wärmespeicherung

### Haushalte und Gewerbe

- Widerstands-Heizsysteme
  - Heizstäbe
  - Strömungserhitzer
  - Flächenheizsysteme
  - Infrarotstrahler
- Elektrodenheizkessel (Gewerbe)
- Elektrische Wärmepumpe
- Bivalente (hybride) Wärmesysteme

### Wärmespeicher

- Sensible Wärmespeicher
- Latente Wärmespeicher
- Thermochemische Wärmespeicher

### Industrie und Prozesswärme

- Prozesse und Verfahren
  - Konduktive Widerstandserwärmung
  - Induktive Erwärmung
  - Hochfrequenzerwärmung
  - Magnetische Gleichstrom-Erwärmung
  - Elektrische Infrarot erwärmung
- Elektrodenkessel (ggf. mit KWK)
- Elektrische Wärmepumpen

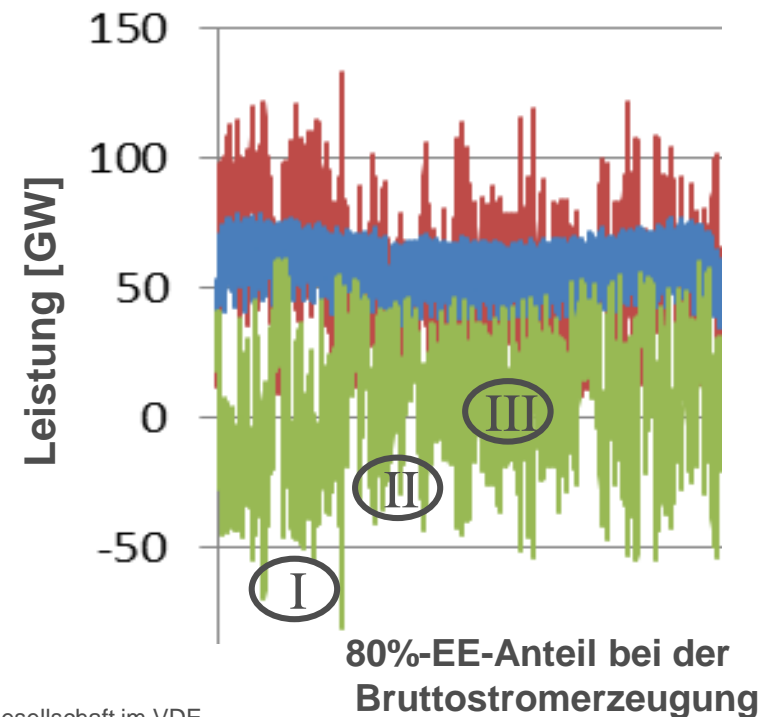
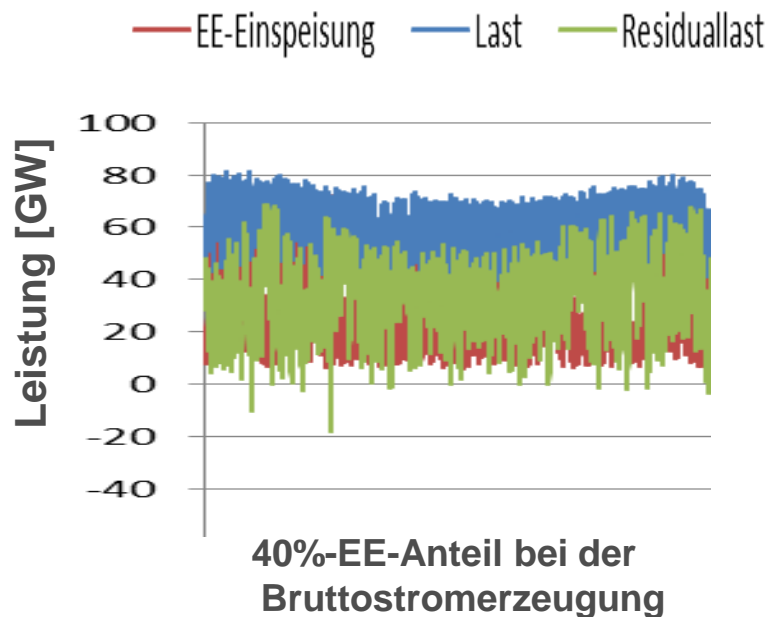
### Fernwärmeversorgung

- Elektrische Großwärmepumpen
- Bivalente (hybride) Wärmesysteme  
z.B. KWK und Elektrodenheizkessel



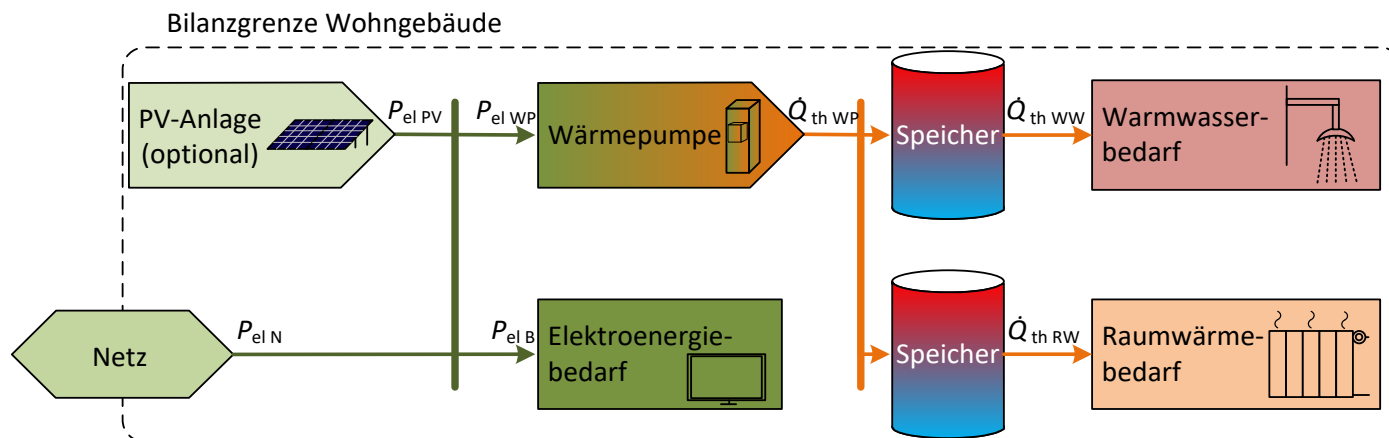
## Charakteristik der EE-Erzeugung und deren Nutzung mit Power-to-Heat

- **Seltene Leistungsspitzen** sind auch mit P2H **wirtschaftlich nicht nutzbar**. (I)
- Lastmanagement mit **Widerstandsheizung** ermöglicht aufgrund **niedriger Investitionskosten** eine wirtschaftliche Nutzung **kurzzeitiger EE-Überschüsse**. (II)
- **Wärmepumpen** sind aufgrund ihrer **hohen Effizienz** die sinnvollste Maßnahme für die Nutzung von Power-to-Heat in der **Mittel- und Grundlast**. (III)



## Anwendungsfall „Versorgung von Wohngebäuden“ mit Wärmepumpen

- Elektrische Wärmepumpen weisen im Vergleich mit anderen Optionen zur Wärmeerzeugung die **höchste Brennstoffeffizienz** auf
- Elektrische Wärmepumpen können einen wesentlichen Beitrag zur **Erhöhung der Eigenbedarfsquote** (bei PV-Anlagen) leisten.  
besonders interessant für Kunden, bei denen die EEG-Förderung ausläuft  
→ Wärmespeicher unterstützen die Nutzung
- Der zusätzliche Einsatz von Strom aus dem Netz ist eine energetisch sinnvolle Maßnahme um steigende Stromerzeugung aus EE zu nutzen  
→ aber: **Bei weiter steigenden Strompreisen nicht mehr wirtschaftlich**

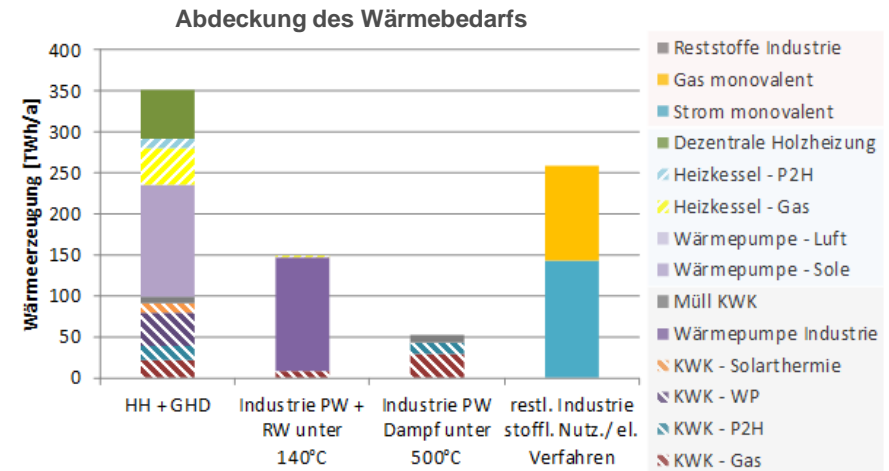
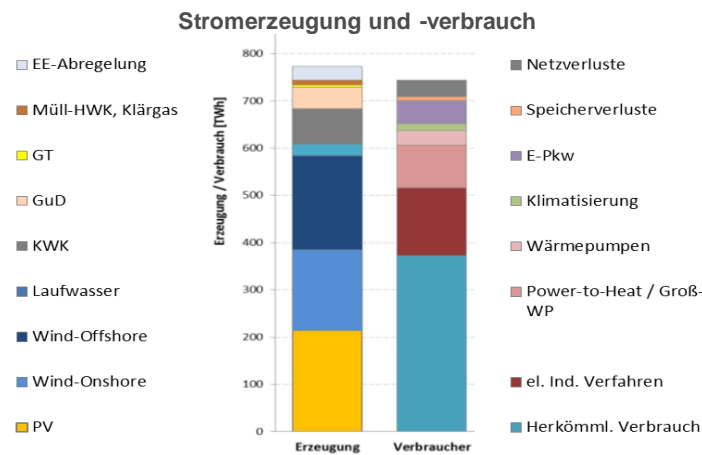


## Bereitstellung von Netz- und Systemdienstleistungen mit Power-to-Heat

- Bereitstellung von **Regelleistung** mit Power-to-Heat (Elektrodenkessel) ist in Kombination mit Fernwärmesystemen (Hybridisierung) **heute bereits wirtschaftlich** und wird in verstärktem Maße genutzt.
- Der Einsatz von Power-to-Heat Anlagen ist heute insbesondere in der **Industrie** vorteilhaft, da hier **ganzjährig hohe Leistungen** abgerufen werden können.
- Bei Haushaltskunden steht mit der **Trinkwassererwärmung** ebenfalls ein **ganzjährig verfügbares (Regel-)Potenzial** zur Verfügung.  
(ca. 6 kWh<sub>th</sub> pro Tag bei einem Vierpersonenhaushalt)
- Ein gesteuerter Betrieb von Wärmepumpen in Wohngebäuden trägt zur **Netzentlastung** bei. (Die höchste Netzbelastung wird i.d.R. durch die Einspeisung aus PV-Anlagen vorgegeben)
- Ein gesteuerter Betrieb von Wärmepumpen in Wohngebäuden unterstützt zusätzlich die **Spannungshaltung** in Niederspannungsnetzen.
- Power-to-Heat als Maßnahme zum Lastmanagement (Demand-Side-Management) **reduziert den Bedarf für Kurzzeit-Stromspeicher**.

## Szenario für das Jahr 2050 mit dem Ziel einer 80%-THG-Einsparung

- Mit dem Szenario lässt sich das Ziel einer 80% THG-Einsparung im Jahr 2050 erreichen. In weiteren Szenarien wurden auch noch höhere THG-Einsparungen betrachtet.
- Unter den getroffenen Annahmen für die Entwicklung der unterschiedlichen Bedarfe sowie der Kosten für Technologien und Brennstoffe wird ein kostenminimales Szenario ermittelt. (Anmerkung: andere Annahmen können zu anderen Ergebnissen führen.)
- Aufgrund von Effizienzmaßnahmen im konventionellen Stromverbrauch und effizienter PtH-Systeme (insbes. Wärmepumpen) steigt der Strombedarf gegenüber heute nur um ca. 25%. Der Bedarf für den Ausbau der Erneuerbaren Energien ist dadurch auch am geringsten.
- Neben PtH in Haushalt und Gewerbe kann die Umstellung auf elektrische Verfahren in der Industrie einen großen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten.



## Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

- Nur durch eine **weitgehende Substitution fossiler Energieträger im Wärmesektor durch EE** lassen sich die Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung erreichen.
- **Power-to-Heat ist die kostengünstigste Variante**, um fossile Energieträger im Wärmemarkt zu substituieren. Elektrische Wärmepumpen haben dabei die höchste Effizienz.
- **Mit dem EE-Ausbau sinkt der Primärenergiefaktor für Strom. Die energetische Attraktivität von Strom im Wärmemarkt wird dadurch ständig verbessert.**
- Elektrische Wärmeerzeuger sind schnell regelbar und **können zur Erbringung von Systemdienstleistungen (z.B. Regelleistung) eingesetzt werden.**
- Für den Gebäudesektor stehen **ausgereifte technische Lösungen** zur Verfügung. Für den industriellen Wärmemarkt besteht teilweise jedoch noch Entwicklungsbedarf.
- Wärmespeicher in Verbindung mit einer stromoptimierten Betriebsweise von PtH-Anlagen können die **Netzbelastung senken** und den **Bedarf für Kurzzeit-Stromspeicher verringern.**
- Durch die **Sektorkopplung Strom-Wärme-Gas** kann u.a. das Potenzial des **Gasnetzes als Langzeit-Stromspeicher** erschlossen werden.
- Die Kostenbelastung von Strom mit Steuern und Abgaben ist aktuell sehr hoch. **Für einen wirtschaftlichen Betrieb von PtH-Anlagen müssen die Tarifstrukturen angepasst werden.**
- Für die Umsetzung **fehlen geeignete rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen.**

## Unter Mitarbeit von:

Herbert Bechem	Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG
Dr. Markus Blesl	Universitaet Stuttgart, IER
Marc Brunner	Universitaet Stuttgart, IEH
Jochen Conrad	Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
Tobias Falke	RWTH Aachen, IFHT
Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann	TU Dresden, IET
Dr. Martin Geipel	Noerr LLP
Norman Gerhardt	Fraunhofer IWES
Wolfgang Glaunsinger	VDE/ETG
Johannes Hilpert	Stiftung Umweltenergierecht
Dr. Alois Kessler	EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Dr.-Ing. Martin Kleimaier	VDE/ETG
Prof. Dr.-Ing. Silke Köhler	Beuth Hochschule für Technik
Dr. Rolf-Michael Lüking	Fraunhofer IBP
Dr. Philip Mayrhofer	enerstorage GmbH
Andrea Meinzenbach	TU Dresden, IET
Elmar Metten	Stromnetz Berlin GmbH
Helene Neugebauer	enerstorage GmbH
Prof. Dr. Dieter Oesterwind	FH Düsseldorf (ZIES)
Prof. Dr-Ing. Christoph Pels-Leusden	Beuth Hochschule für Technik
Joachim Plate	Bundesverband Flächenheizungen e.V.
Arno Pöhlmann	Lechwerke AG
Philipp Riegebauer	FH Düsseldorf (ZIES)
Jörg Rummeni	RWE Effizienz GmbH
Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner	TU Dresden, IEEH
Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler	RWTH Aachen, IFHT
Prof. Dr.-Ing. Stefan Tenbohlen	Universitaet Stuttgart, IEH
Dr.-Ing. Serafin von Roon	Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH
Jens Werner	TU Dresden, IEEH
Dr.-Ing. Bernhard Wille-Haussmann	Fraunhofer ISE

## Gemeinsamkeiten

### Dezentrale Batteriespeicher / Elektrische Wärmeerzeuger

- Beide Systeme können bei steigender Erzeugung aus erneuerbaren Quellen und geeigneter Steuerung zu einer Entlastung der Verteilungsnetze beitragen
- Beide Systeme sind sehr schnell regelbar und können daher verschiedene Netz- und Systemdienstleistungen bereitstellen
- Viele sinnvolle Anwendungen sind heute nicht wirtschaftlich oder nur an der Grenze der Wirtschaftlichkeit
- Multifunktionale Anwendungen begünstigen bei beiden Systemen die Wirtschaftlichkeit
- Bei beiden Anwendungen ist derzeit nur die Nutzung von Eigenstrom begünstigt
  - Hohe Netzstrompreise und die aktuelle Tarifstruktur (hohe Steuern und Abgaben) be- bzw. verhindern jedoch netz- und systemdienliche Anwendungen die einen Strombezug aus dem Netz bedingen (z.B. Speicherladung mit Windstrom in Wintermonaten bzw. Speicherentladung ins Netz in Sommernächten)

## Handlungsbedarf

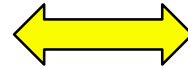
### Dezentrale Batteriespeicher / Strom im Wärmemarkt

- Damit gesamtwirtschaftlich sinnvolle Maßnahmen auch betriebswirtschaftlich umgesetzt werden können, sind geeignete rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen, incl. der hierfür erforderlichen Tarife und Tarifstrukturen, erforderlich.
- Bei einer Betrachtung des Gesamtsystems ist das Zusammenwirken beider Systeme zu optimieren. Der Einsatz von elektrischen Wärmeerzeugern kann dabei den Bedarf für Batteriespeicher (und generell für Stromspeicher) reduzieren.
- Die optimierte Einbindung beider Systeme in das Gesamtsystem (Smart Energy System) erfordert die Aggregation auch kleinerer dezentraler Systeme, um sowohl netz- als auch systemdienlich eingesetzt werden zu können. Hierfür sind angepasste Informations- und Steuerungskonzepte zu entwickeln.
- Einzelne Technologien müssen noch weiterentwickelt werden.



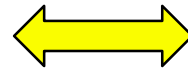
# Systemoptimierung und Spannungsfelder

**ohne Netzanschluss  
(Inselnetz)**



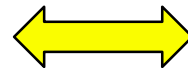
**mit Netzanschluss  
inselnetzfähig**

**Eigennutzen**



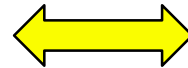
**Netz-/Systemnutzen**

**betriebswirtschaftlich  
(marktorientiert)**



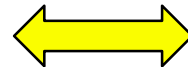
**gesamtwirtschaftlich  
(reguliert / Grid Codes)**

**Ladung mit Eigenstrom  
z.B. PV**



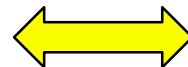
**Ladung mit Fremdstrom  
z.B. Wind**

**Entladung f. Eigenbedarf**



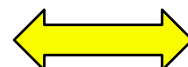
**Entladung ins Netz**

**monofunktional**



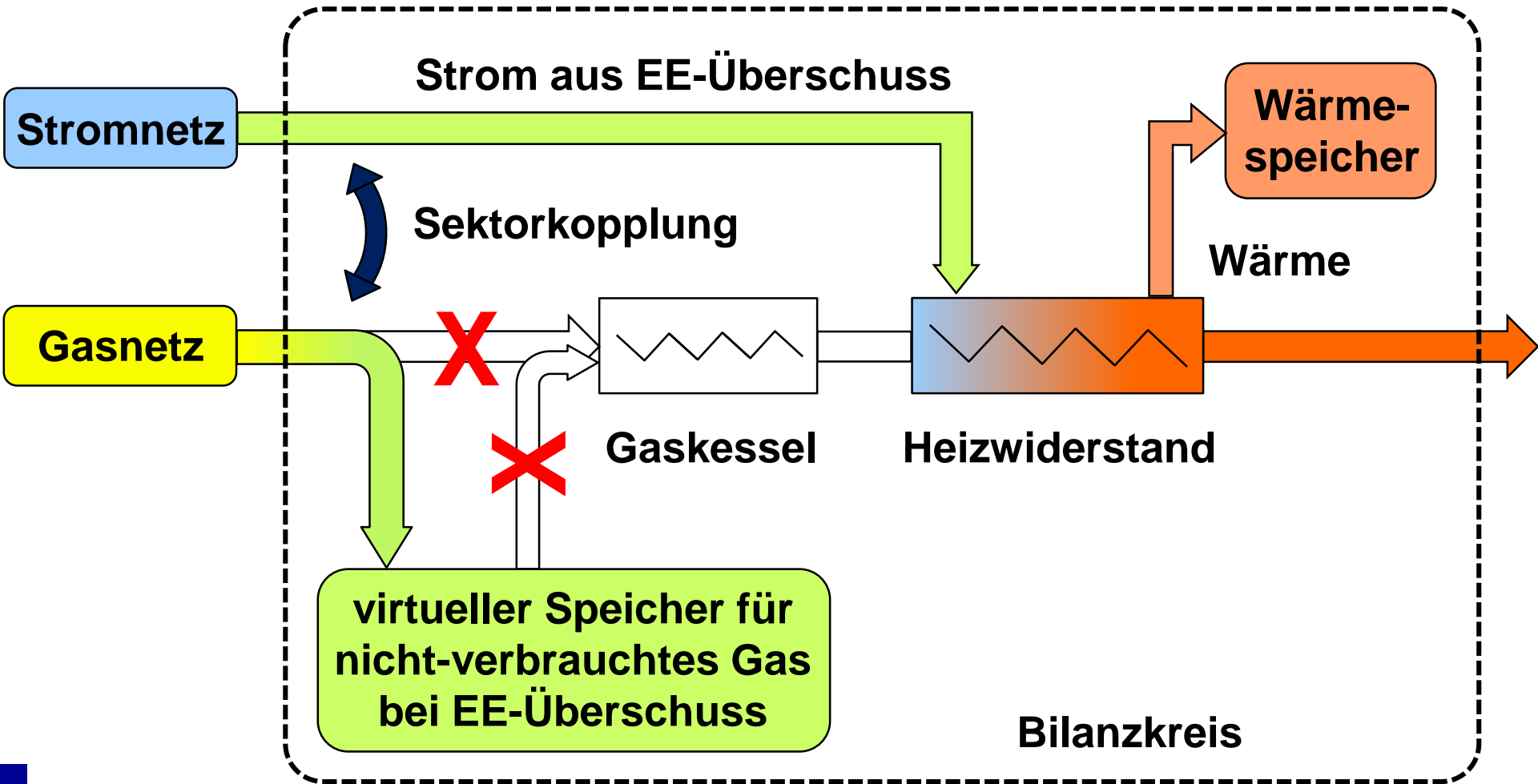
**multifunktional**

**Ladezustand: voll  
(Energieabgabe)**

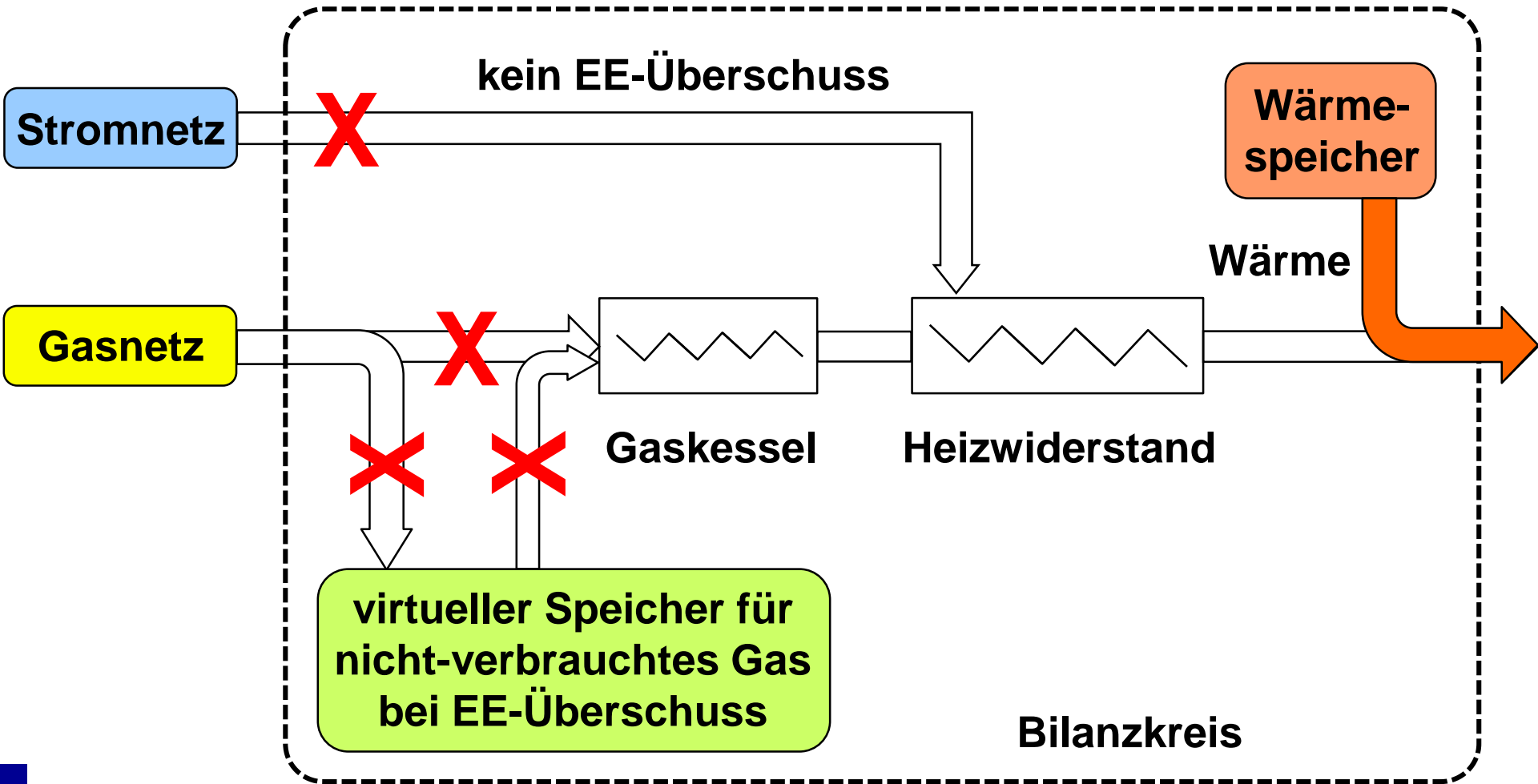


**Ladezustand: leer  
(Energieaufnahme)**

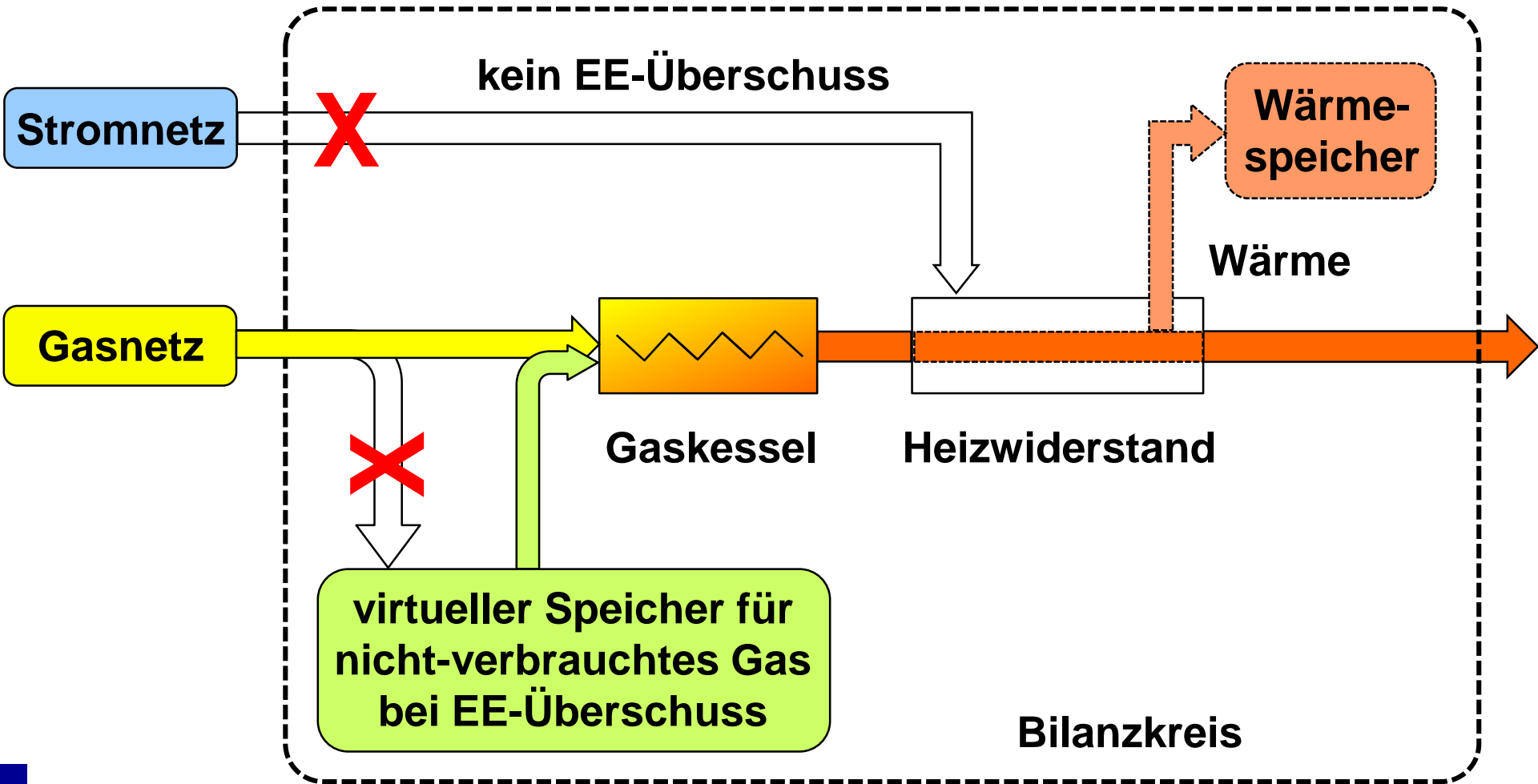
# Beispiel: Erdgas-Hybridsystem



# Beispiel: Erdgas-Hybridsysteme

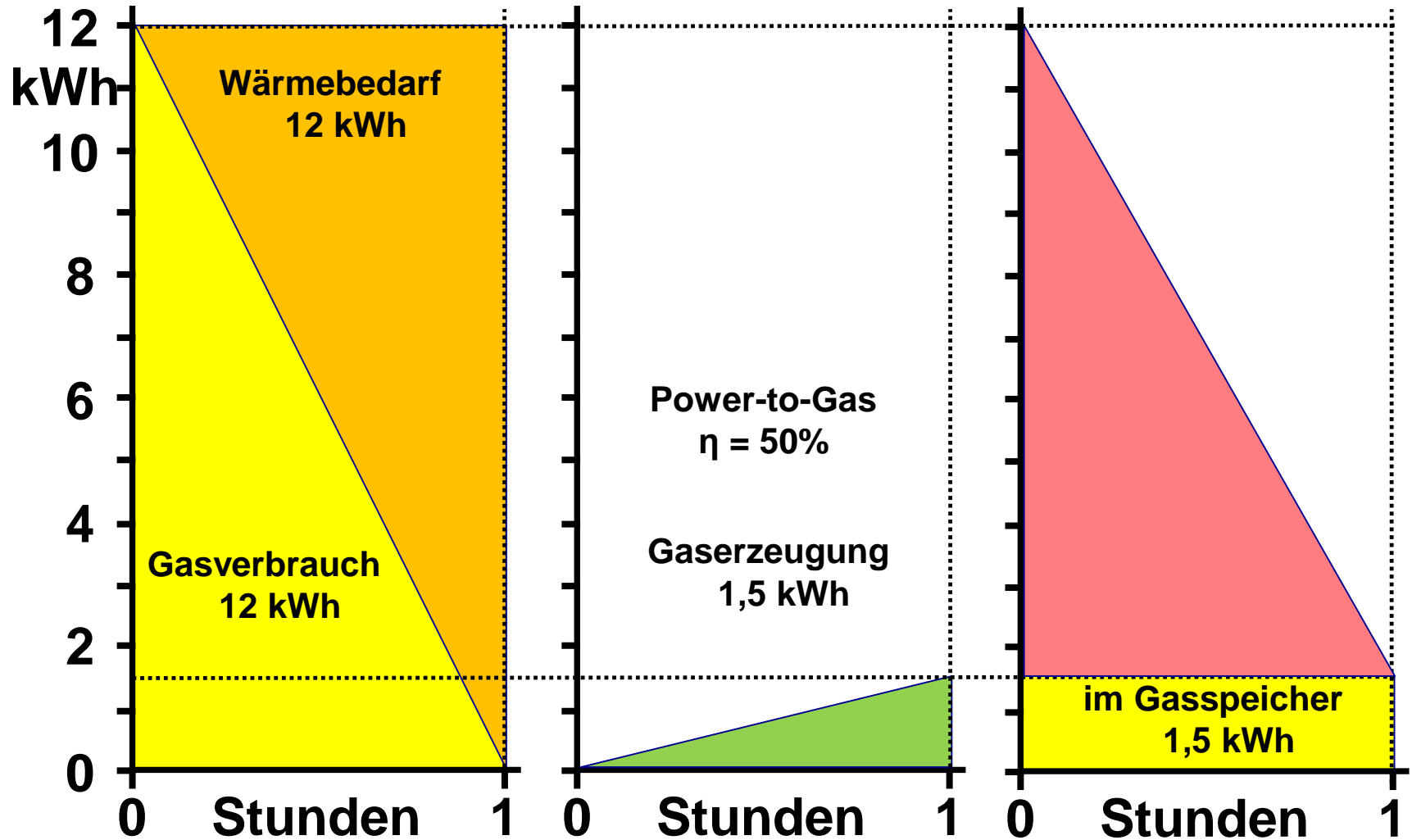


# Beispiel: Erdgas-Hybridsysteme



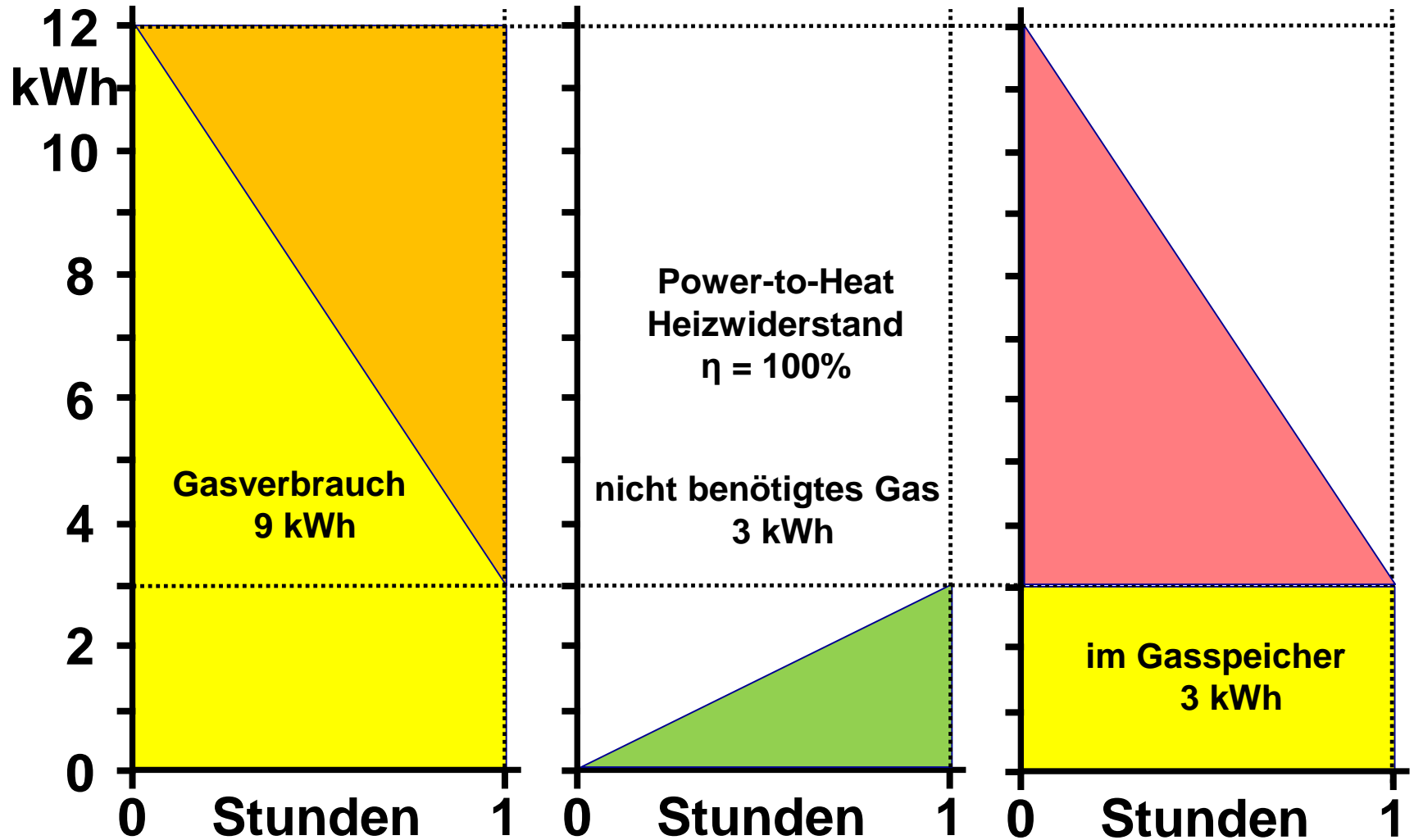
# Brennwertkessel und Power-to-Gas

Wärmebedarf: 12 kW  
EE-Überschuss: 3 kW



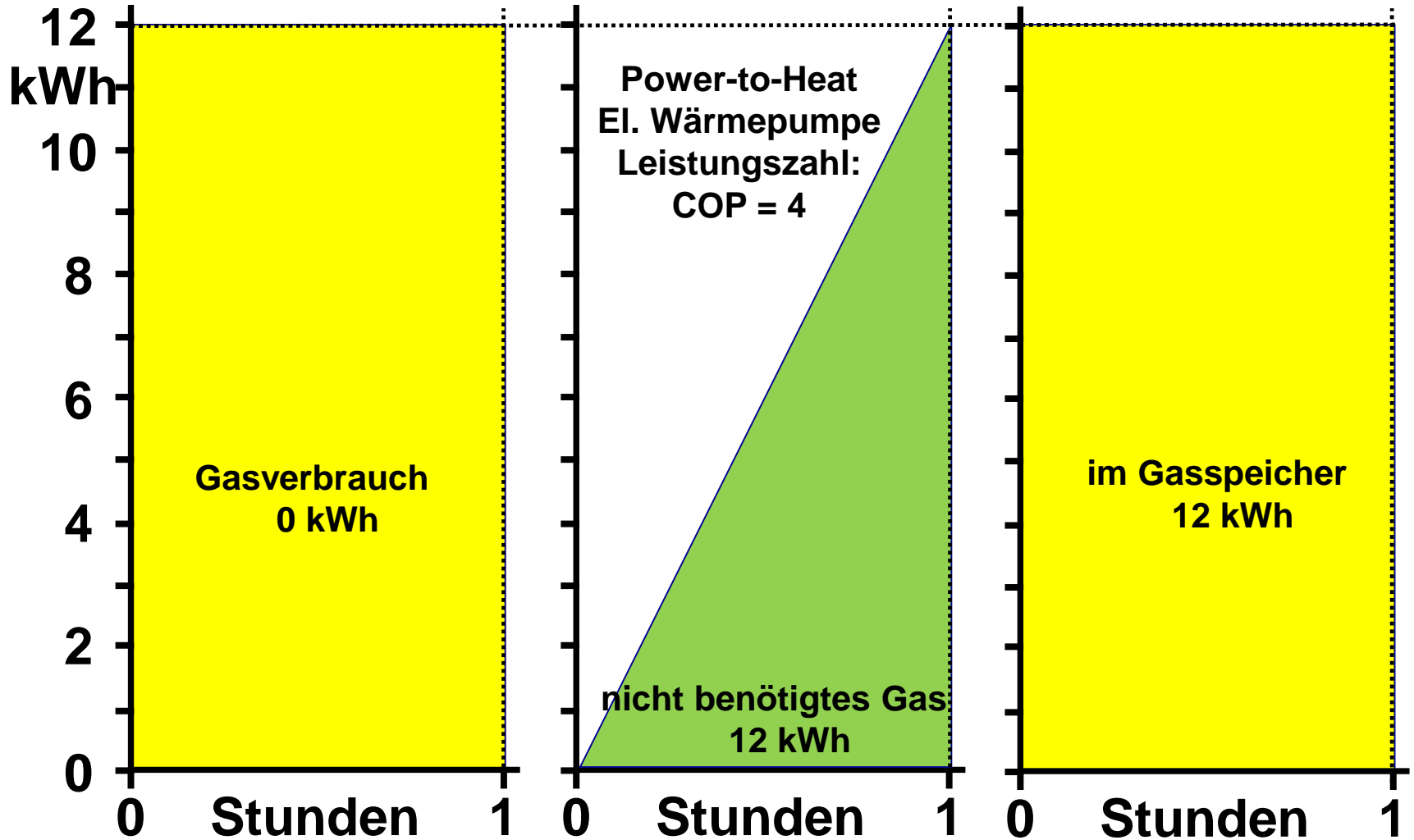
# Brennwertkessel und Power-to-Heat (Heizwiderstand)

Wärmebedarf: 12 kW  
EE-Überschuss: 3 kW



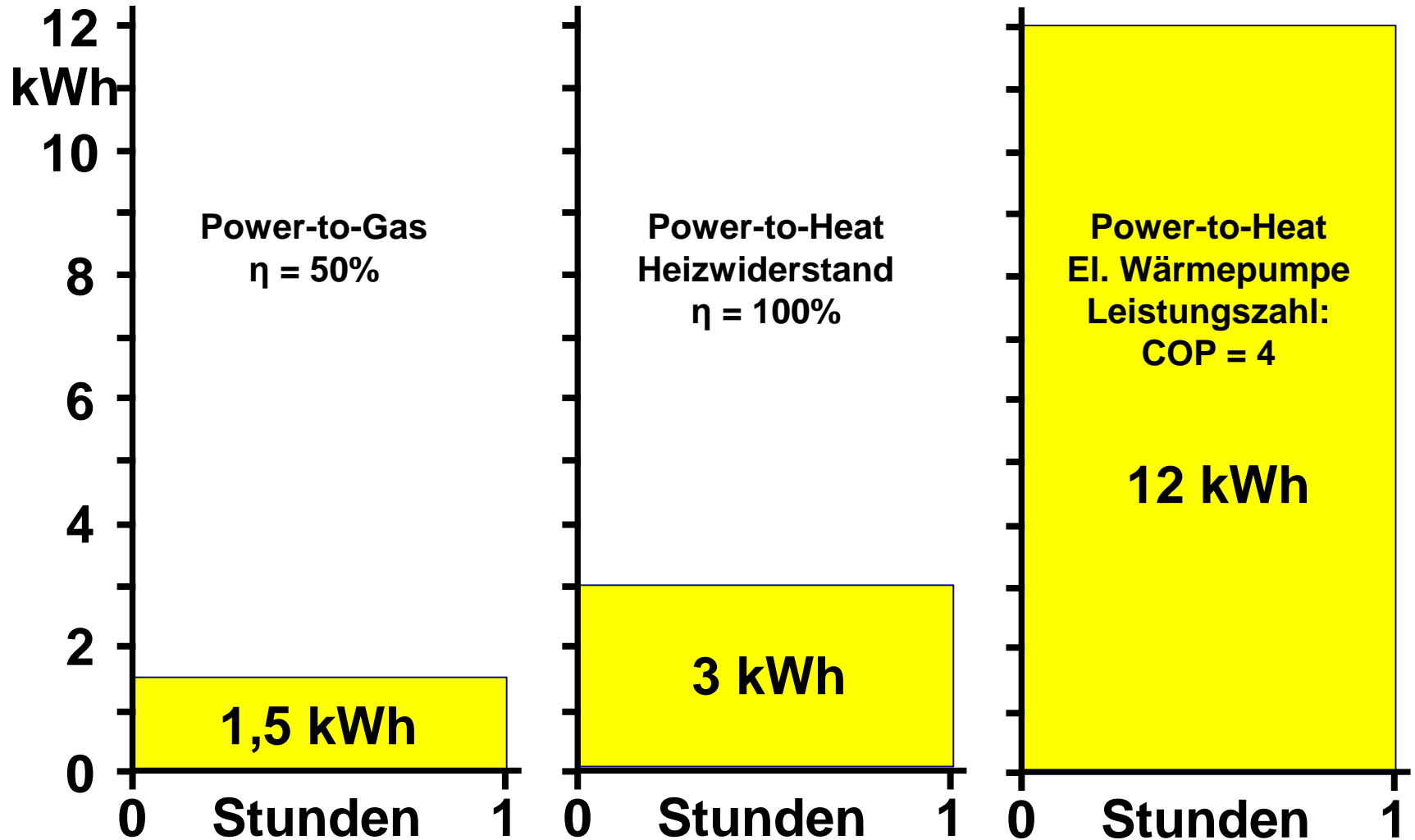
# Power-to-Heat (elektrische Wärmepumpe)

Wärmebedarf: 12 kW  
EE-Überschuss: 3 kW



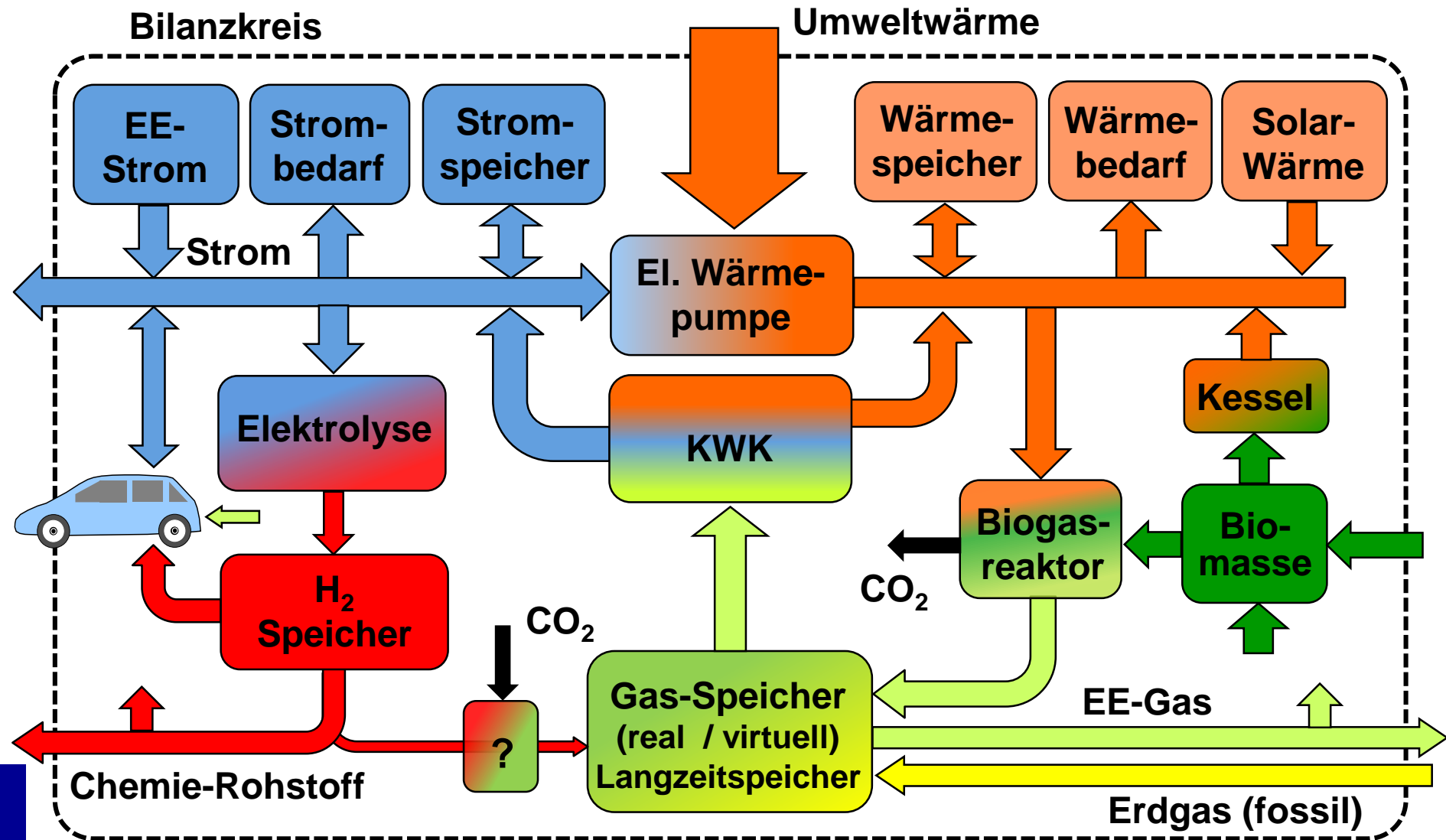
# Vergleich: Einsparung von Erdgas durch Power-to-X

Wärmebedarf: 12 kW  
EE-Überschuss: 3 kW





# Das Ideal der Sektorkopplung? – wie viele Speicher ?



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

VDE – Netzwerk Zukunft

**Ihr Ansprechpartner :**

Dr. Martin Kleimaier

Phone: +49 (0)1520 1523439  
martin.kleimaier@t-online.de