



Demand Side Management - Stadt für Netzstabilität

Hans Schäfers

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Center for Demand Side Integration (C4DSI)**



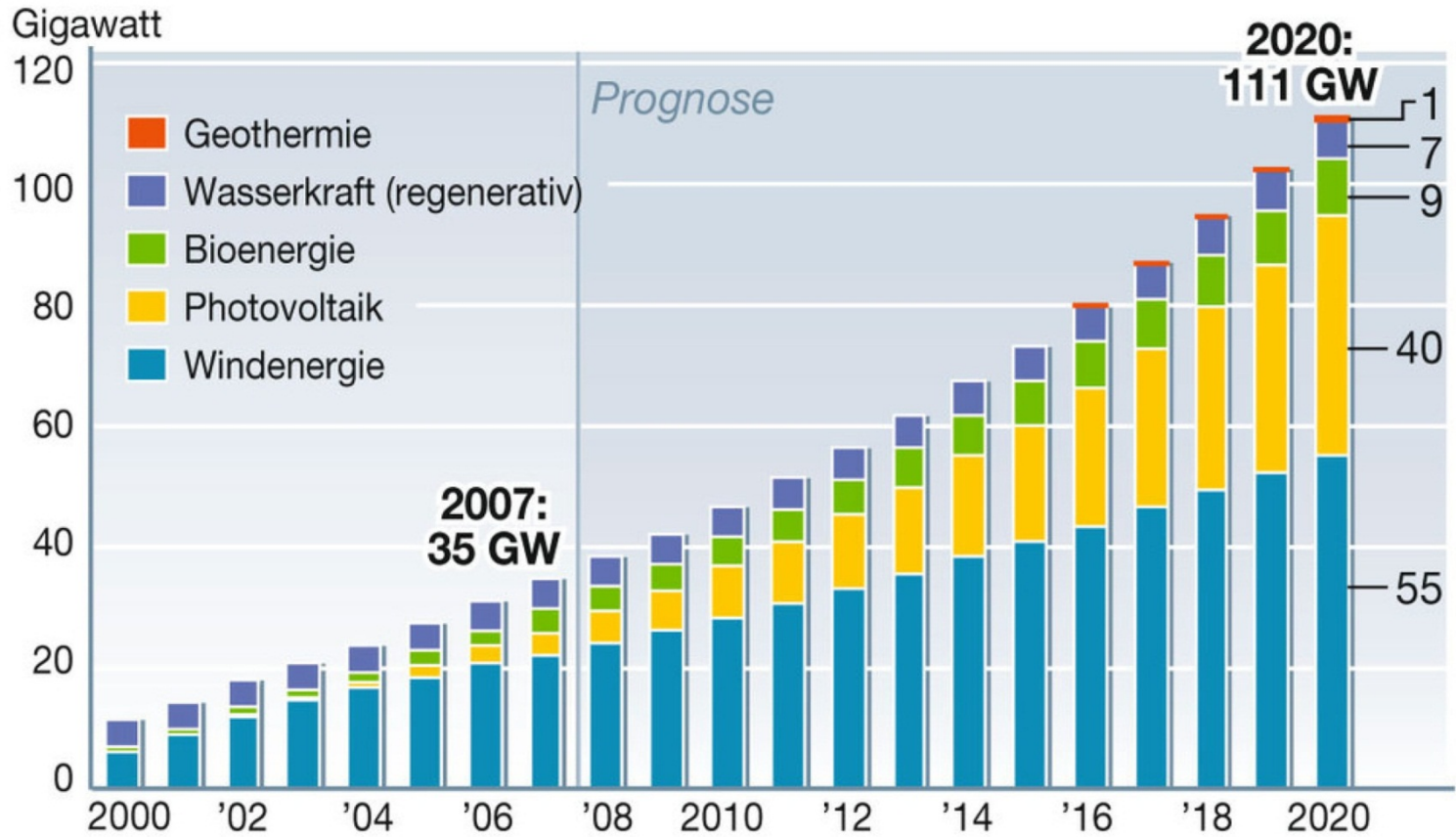
- Was ist das Problem? Und wie hilft da die Integration der Verbrauchsseite?
- Wo gibt es Potentiale zur Integration der Verbraucherseite in einer Stadt?
 - Intelligente Nutzung bestehender Stadtinfrastrukturen:
Beispiele aus dem C4DSI.

- Was ist das Problem?

Und wie hilft da die Integration der
Verbrauchsseite?

Strukturwandel in der Energieerzeugung: Diese Dekade

Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2020

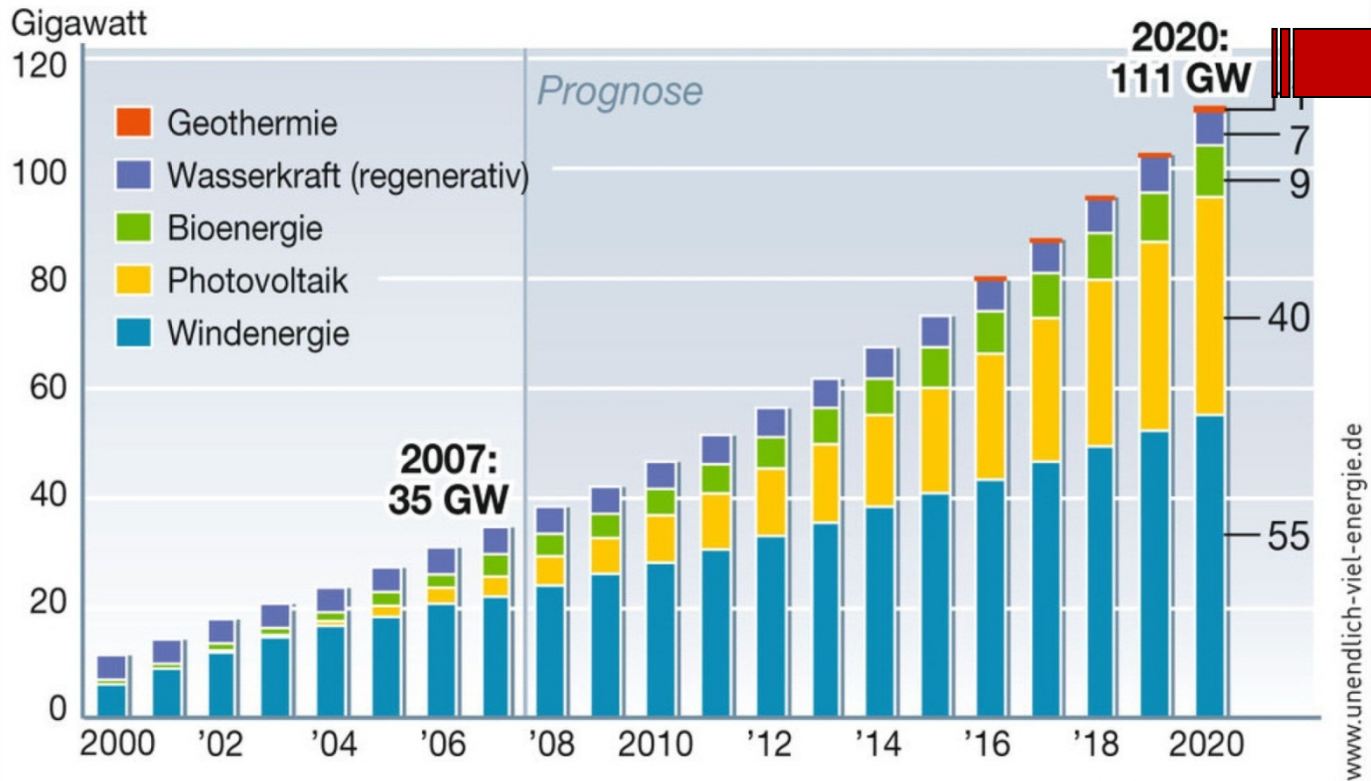


Quelle: Branchenprognose 2020
Stand: 1/2009



Strukturwandel in der Stromerzeugung durch die Energiewende

Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2020



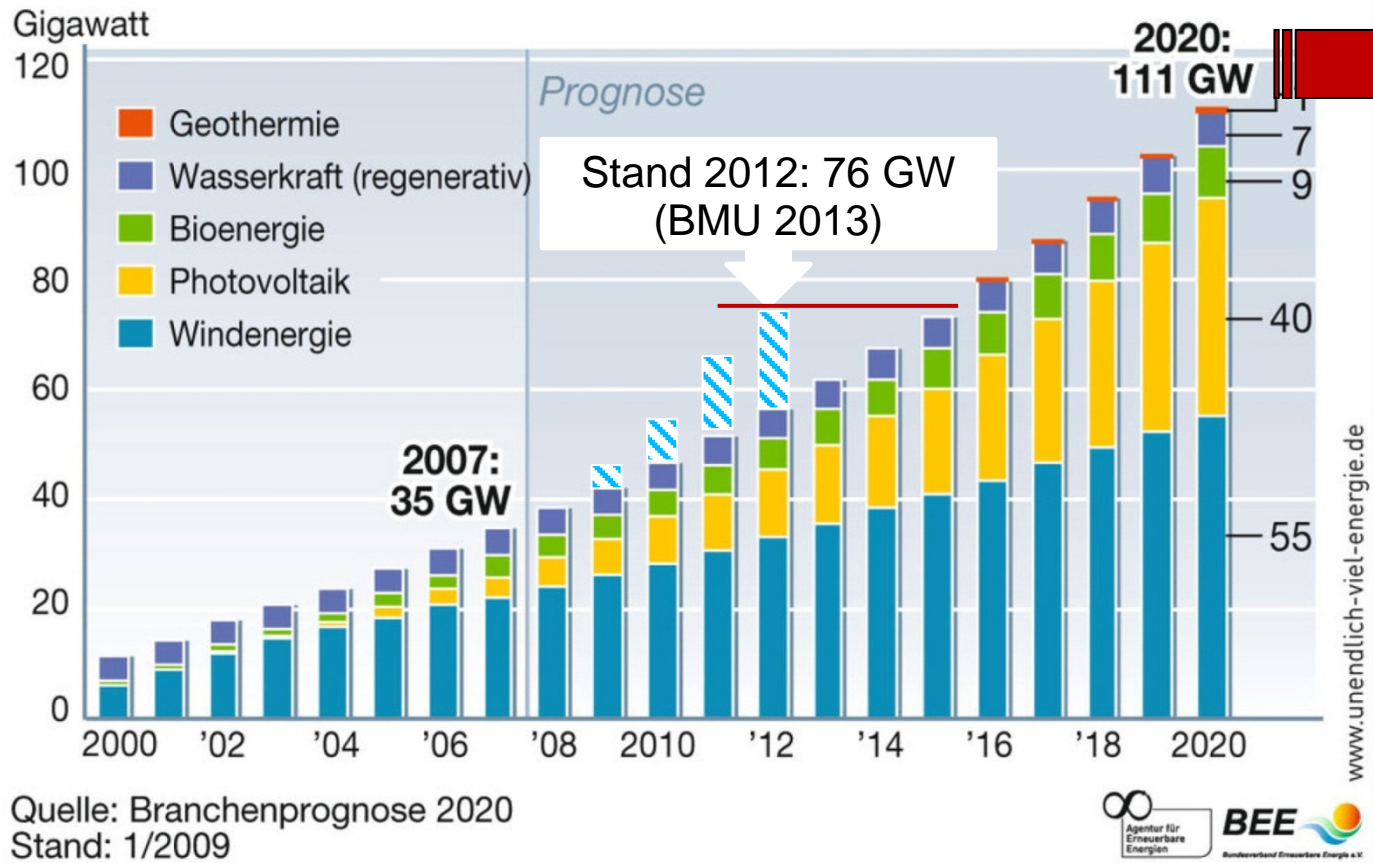
111 GW
≈ 47% EE

Quelle: Branchenprognose 2020
Stand: 1/2009



Strukturwandel in der Stromerzeugung durch die Energiewende

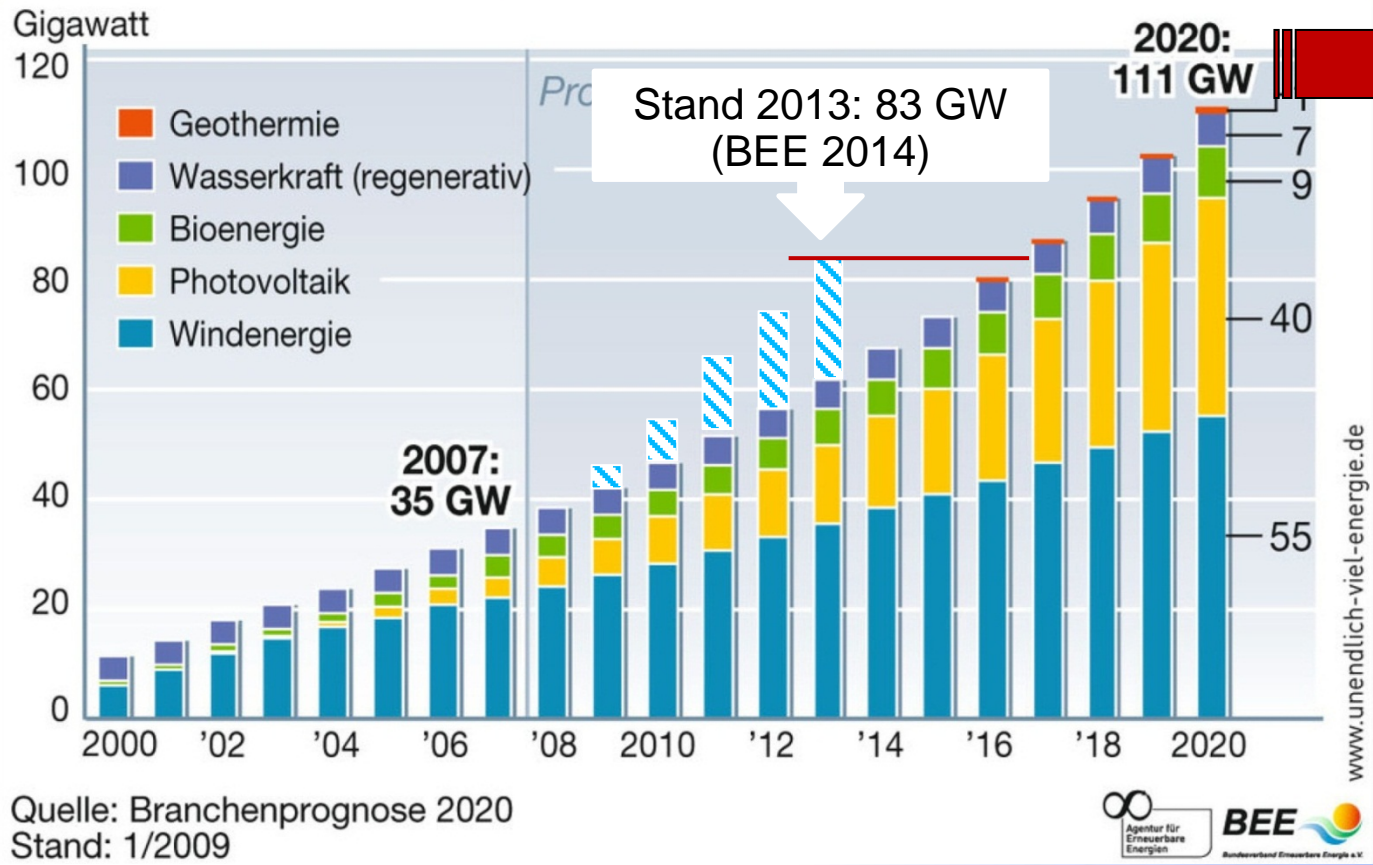
Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2020



**111 GW
= 47% EE**

Strukturwandel in der Stromerzeugung durch die Energiewende

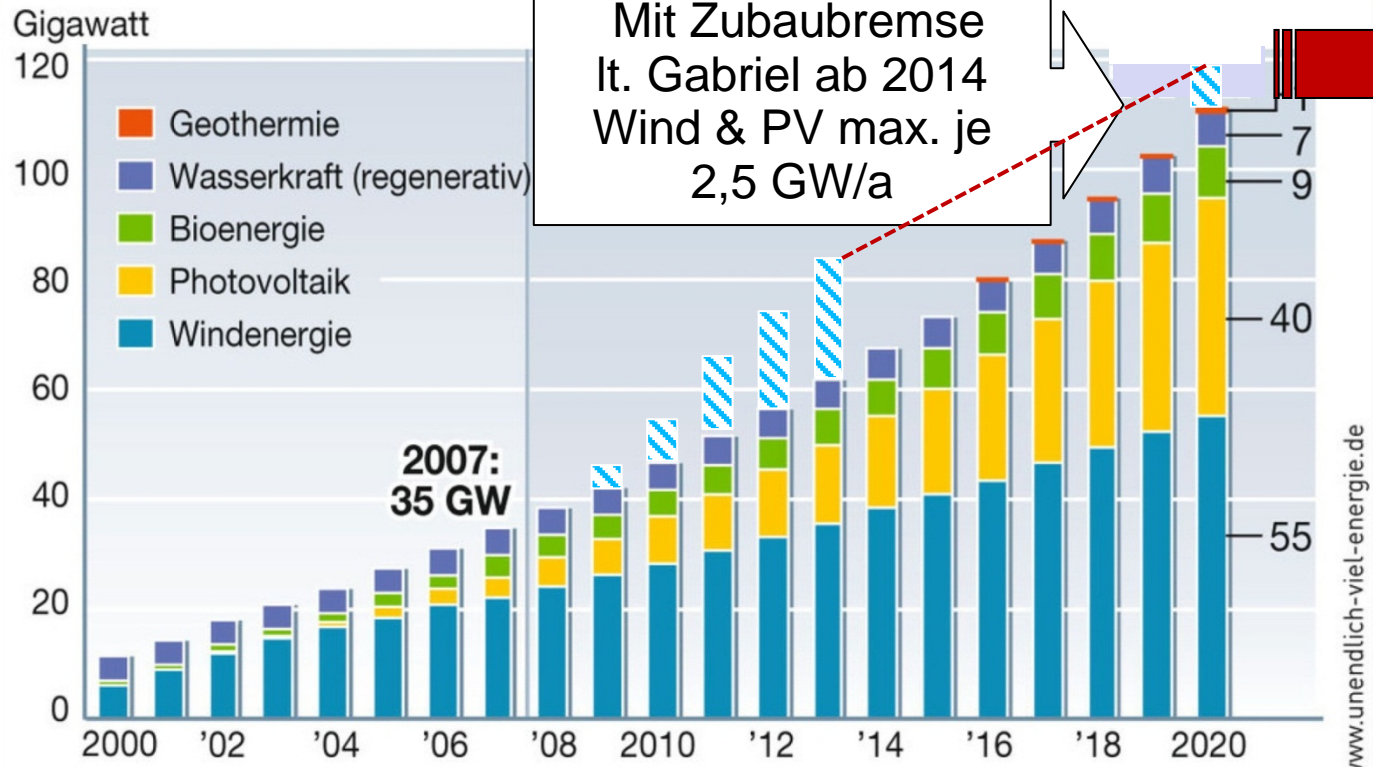
Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2020



111 GW
= 47% EE

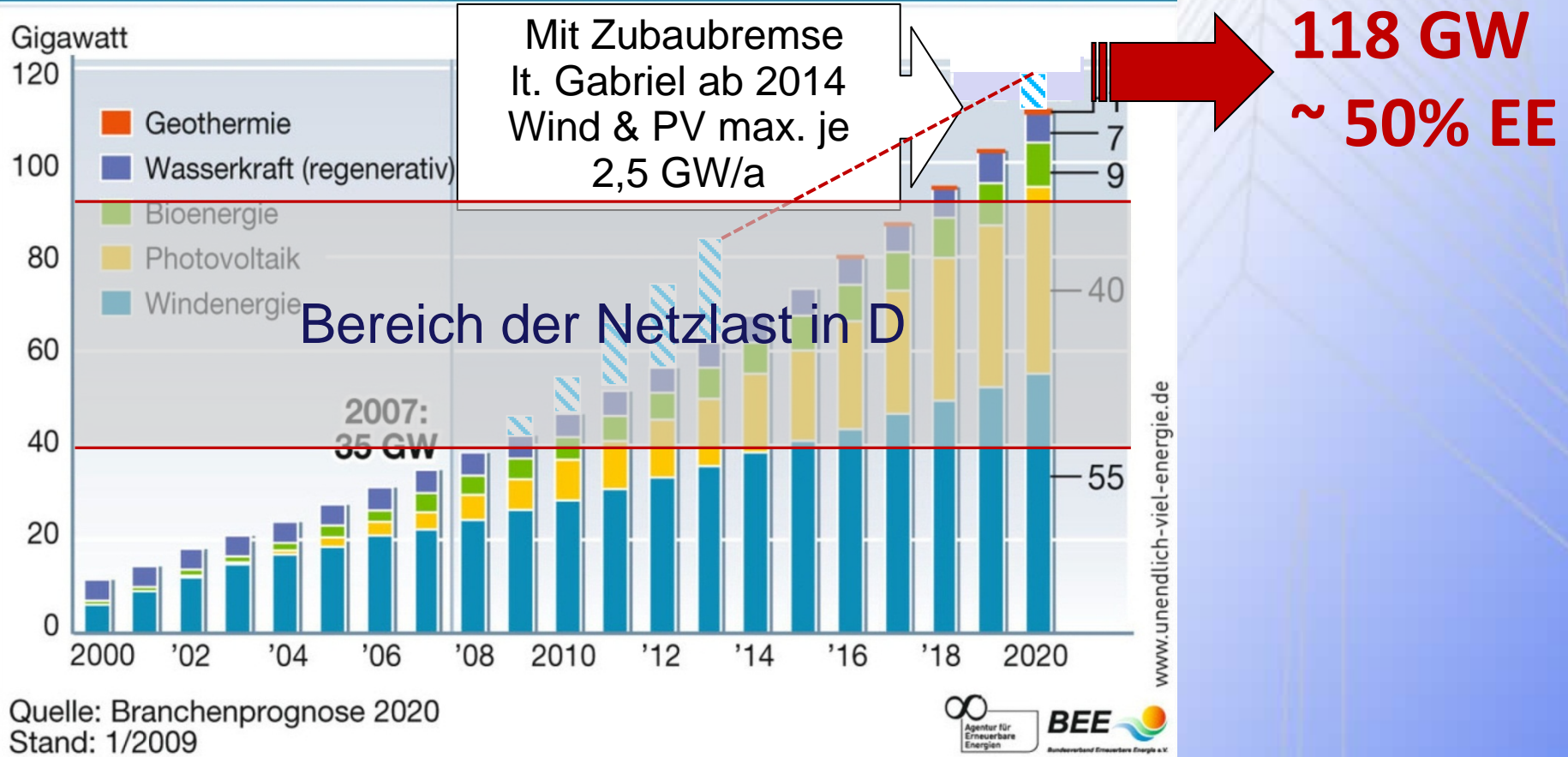
Strukturwandel in der Stromerzeugung durch die Energiewende

Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2020



Strukturwandel in der Stromerzeugung durch die Energiewende

Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2020

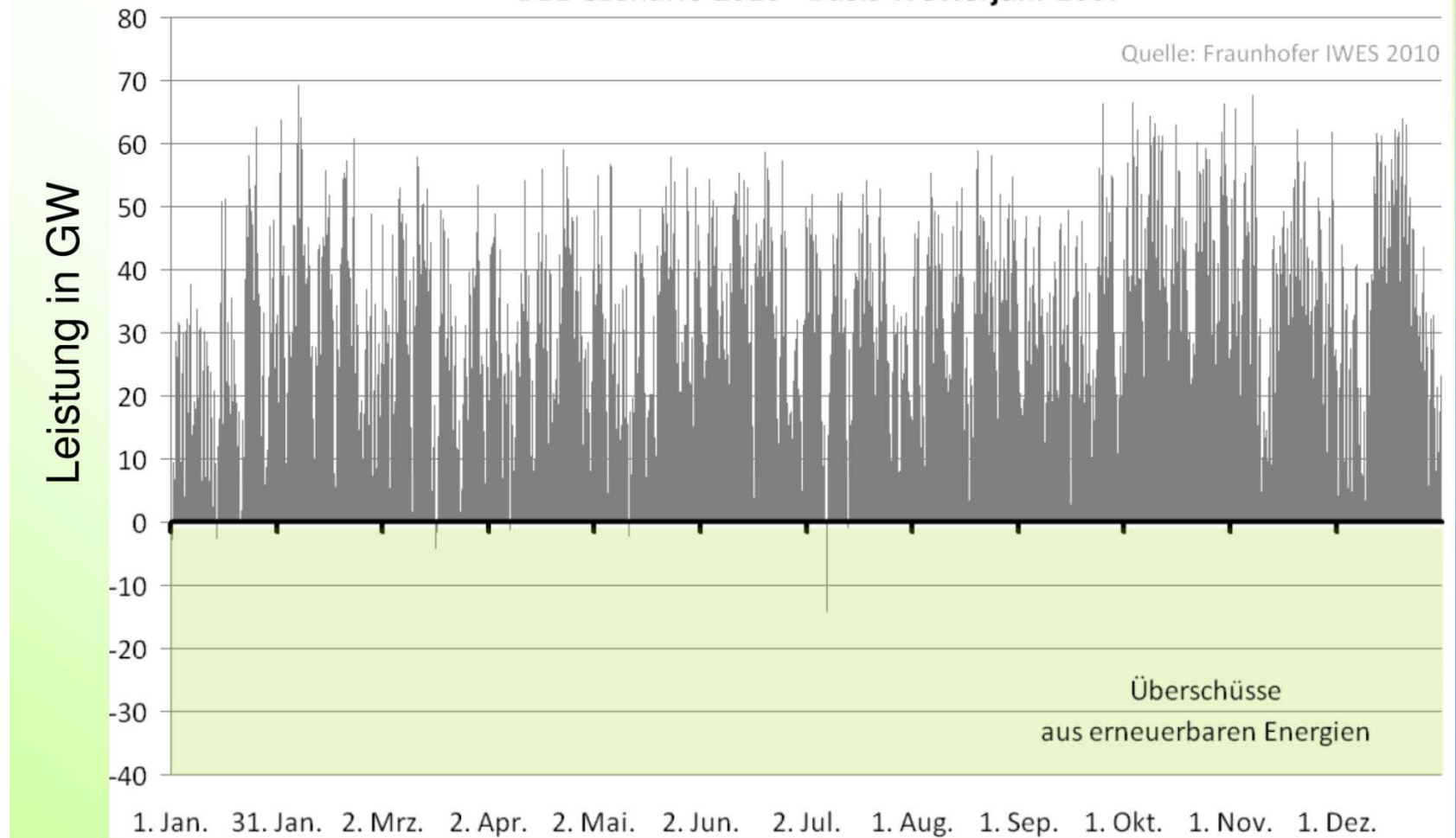


Fluktuation der Residuallast bei 47% EE an der Stromproduktion

Anteil erneuerbare 47%, Basiswetterjahr 2007, netto

Residuale Last (Last minus ungesteuerte EE-Einspeigung)
BEE-Szenario 2020 - Basis Wetterjahr 2007

Quelle: Fraunhofer IWES 2010



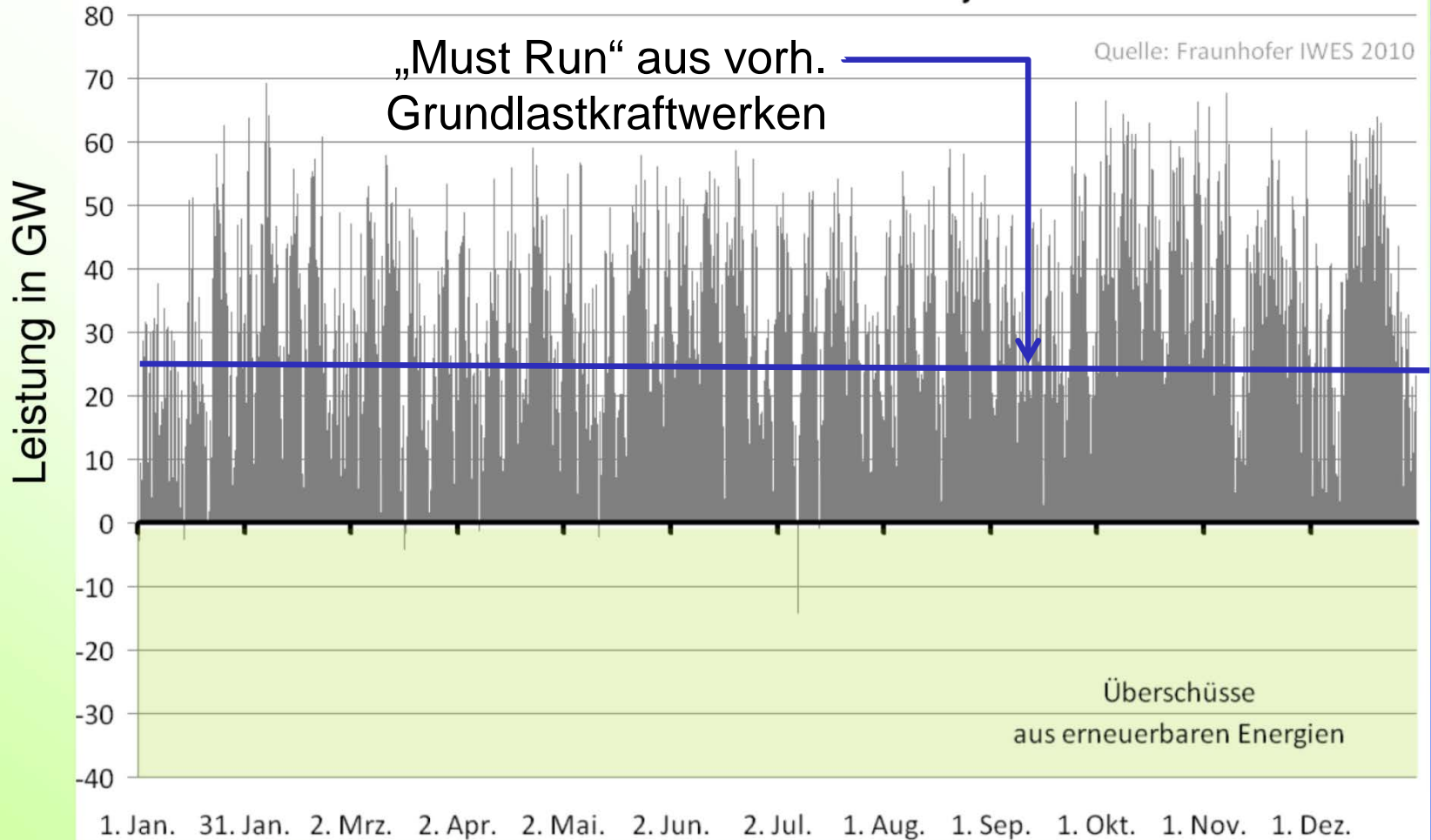
Fluktuation der Residuallast bei 47% EE an der Stromproduktion

Anteil erneuerbare 47%, Basiswetterjahr 2007, netto

Residuale Last (Last minus ungesteuerte EE-Einspeigung)

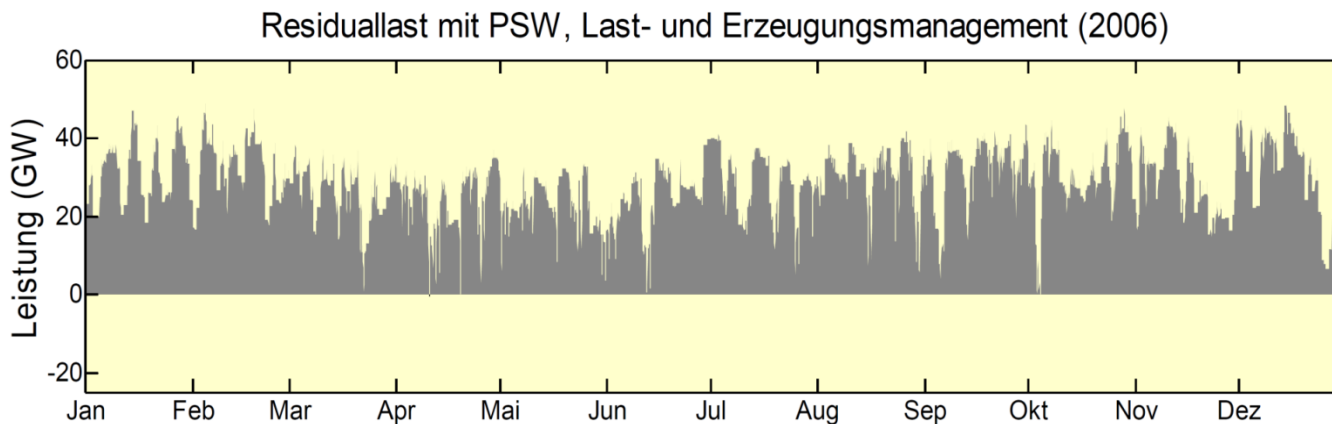
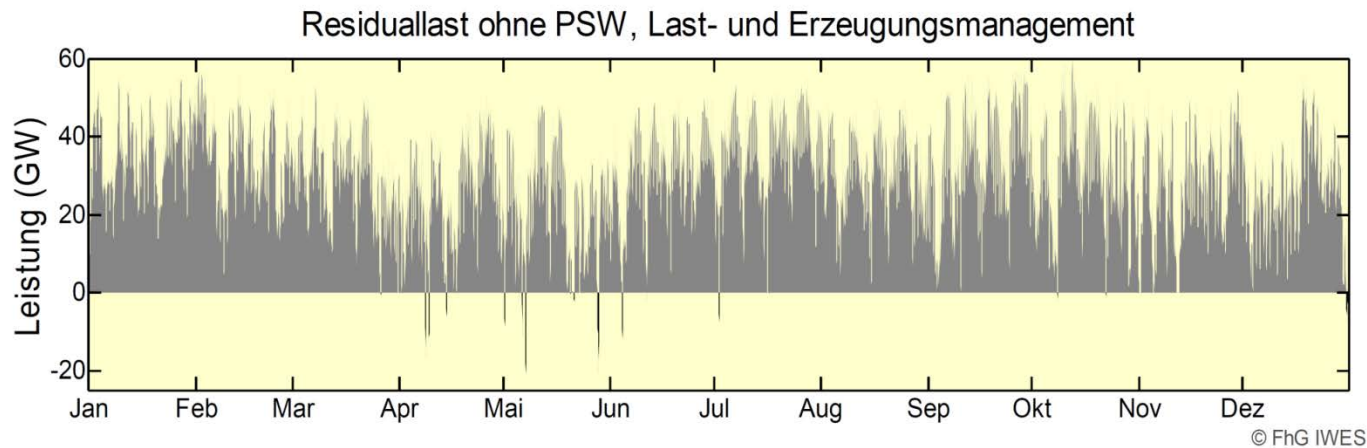
BEE-Szenario 2020 - Basis Wetterjahr 2007

Quelle: Fraunhofer IWES 2010



Glättungseffekt durch Last- und Erzeugungsmanagement

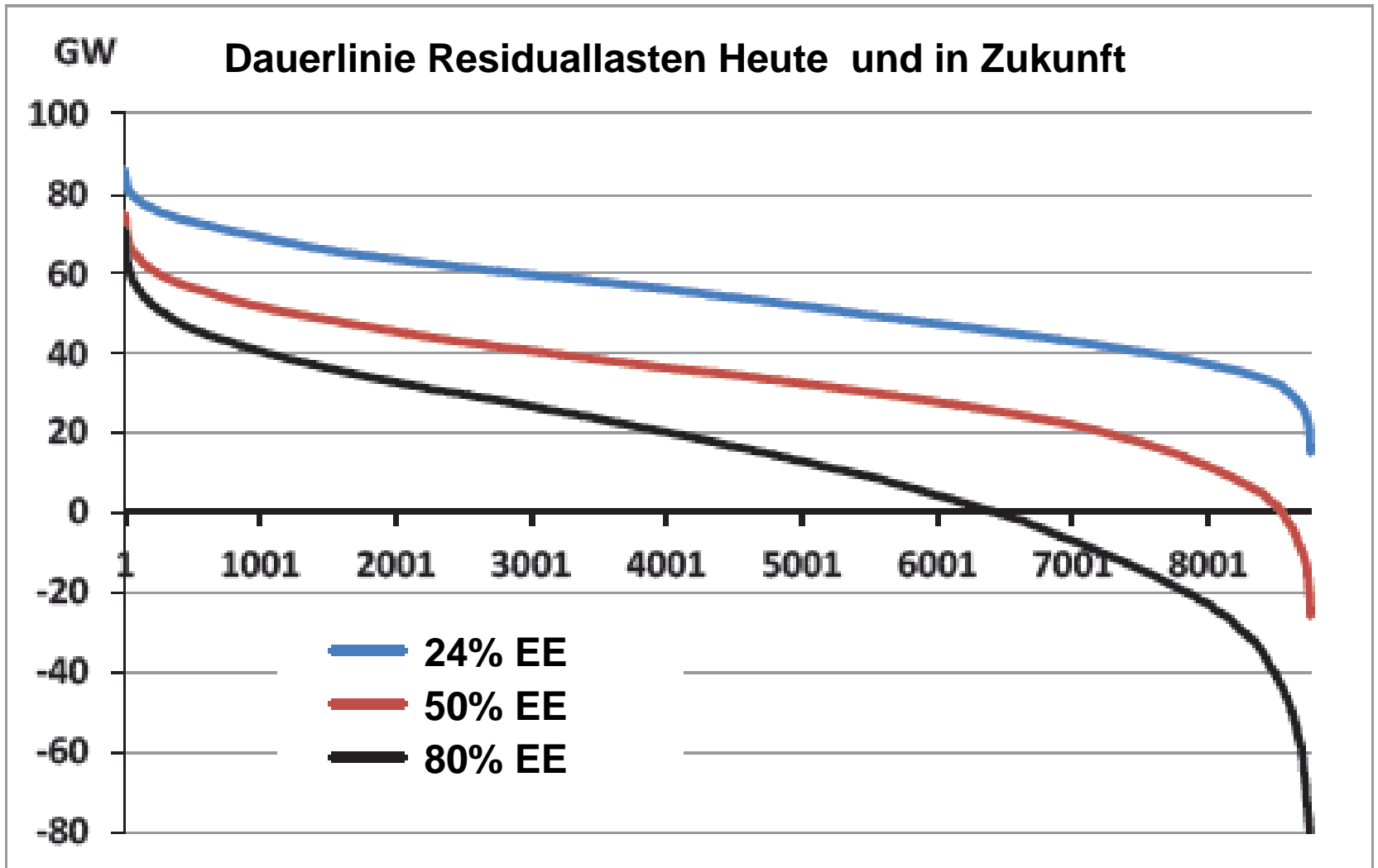
Beitrag zur Lösung des Problems: Glättung der Residuallast durch Integration der Verbrauchsseite (Demand Side Integration, DSI) und Speicherung von Überschussenergie (Pumpspeicher, Power to Gas)



Einfluss von DSI und Pumpspeicher (Potential von 2006) bei 47% REG (Wetter Daten 2007).

Quelle: Fraunhofer IWES

Residuallast zukünftig



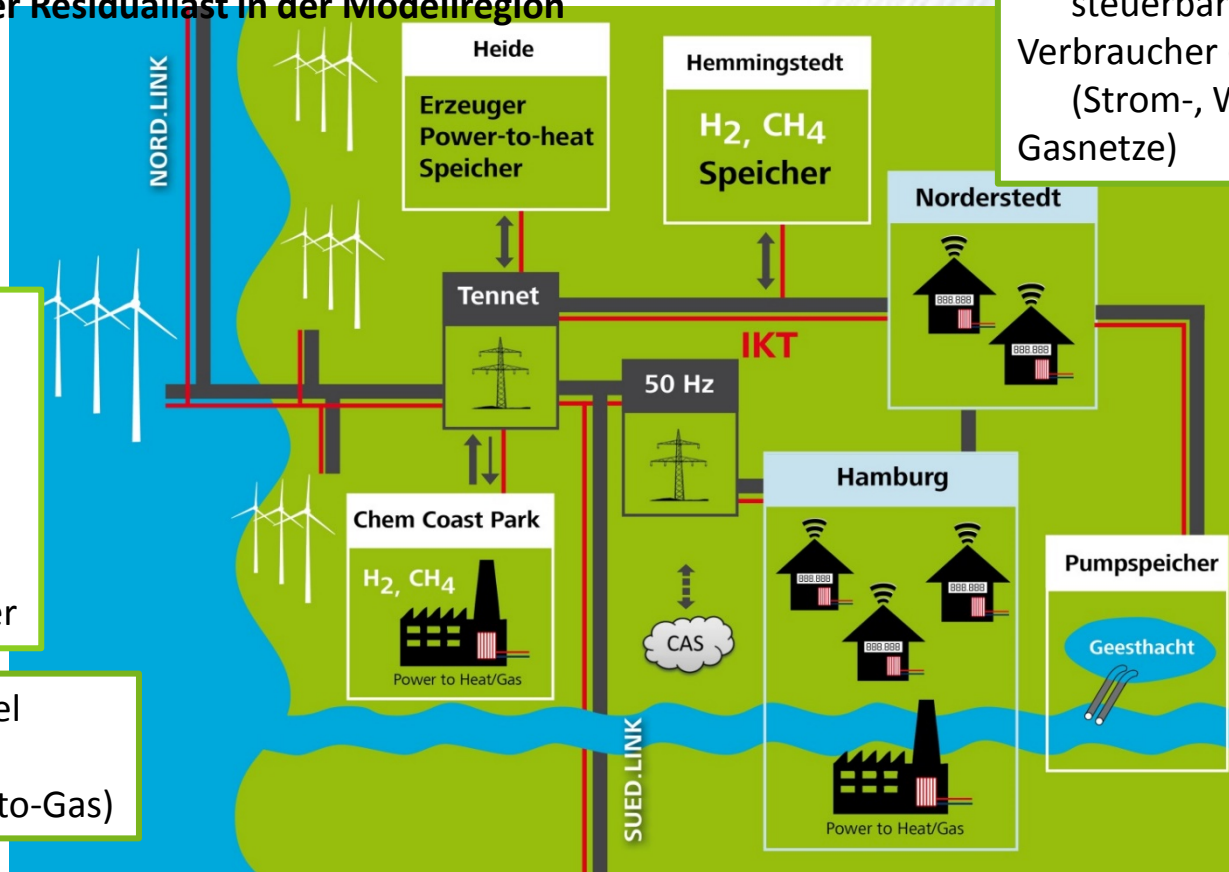
- **Schaufenster- Zielregionen:** Regionen, gekennzeichnet durch ein ausgeprägtes Ungleichgewicht zwischen Last und Erzeugung, d. h. Lastzentren (hohe Bevölkerungs-/Industriedichte) und EE-Erzeugungszentren („Szenario 2020“)
- **Merkmale der Modellregionen:** min. 100.000 Haushalte, 10.000 Smart Meter, 1.000 steuerbare unterbrechbare Verbraucher, ausreichende TK-/ Energienetze, die installierte Windleistung beträgt das Dreifache der Spitzenlast (Szenario 2020)
- **Projekthalt: Praxisgrößtest in Modellregionen** mit wesentlichen Merkmalen zur Erprobung von: neuen Netz- & Speichertechnologien, Konzepten zur Systemführung & Engpassbewirtschaftung, Organisationsformen & Marktmodellen, neuen Formen des Erzeugungs-/Lastmanagements, Einsatz sicherer IKT, intelligenten Meßsystemen
- **Geplantes Fördervolumen** je Schaufenster 2014-2018: 40 Mio. € zzgl. Eigenanteil der Unternehmen 40 Mio. € (aus dem Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“)

Die Modellregion, d.h. der südwestliche Raum von Schleswig-Holstein und das angrenzende Hamburger Stadtgebiet erfüllt die Voraussetzungen optimal

Maximale Integration von Windstrom durch intelligente Anpassung von Lasten und Erzeugung durch:

1. Entlastung der Übertragungsnetze und
2. Glättung der Residuallast in der Modellregion

Verteilnetz Großraum
Hamburg
→ Integration vernetzter
Infrastrukturen,
steuerbare
Verbraucher (DSM)
(Strom-, Wärme-,
Gasnetze)



Anbindung Speicher
zur Flexibilitätserhöhung
→ Pumpspeicherkraftwerk
Geesthacht
→ H₂-, CH₄-Speicher
Hemmingstedt
→ Wärme-/Batteriespeicher

ChemCoast Park Brunsbüttel
→ Energieumwandlung
(Power-to-Heat, Power-to-Gas)

- Wo gibt es Potentiale zur Integration der Verbraucherseite?

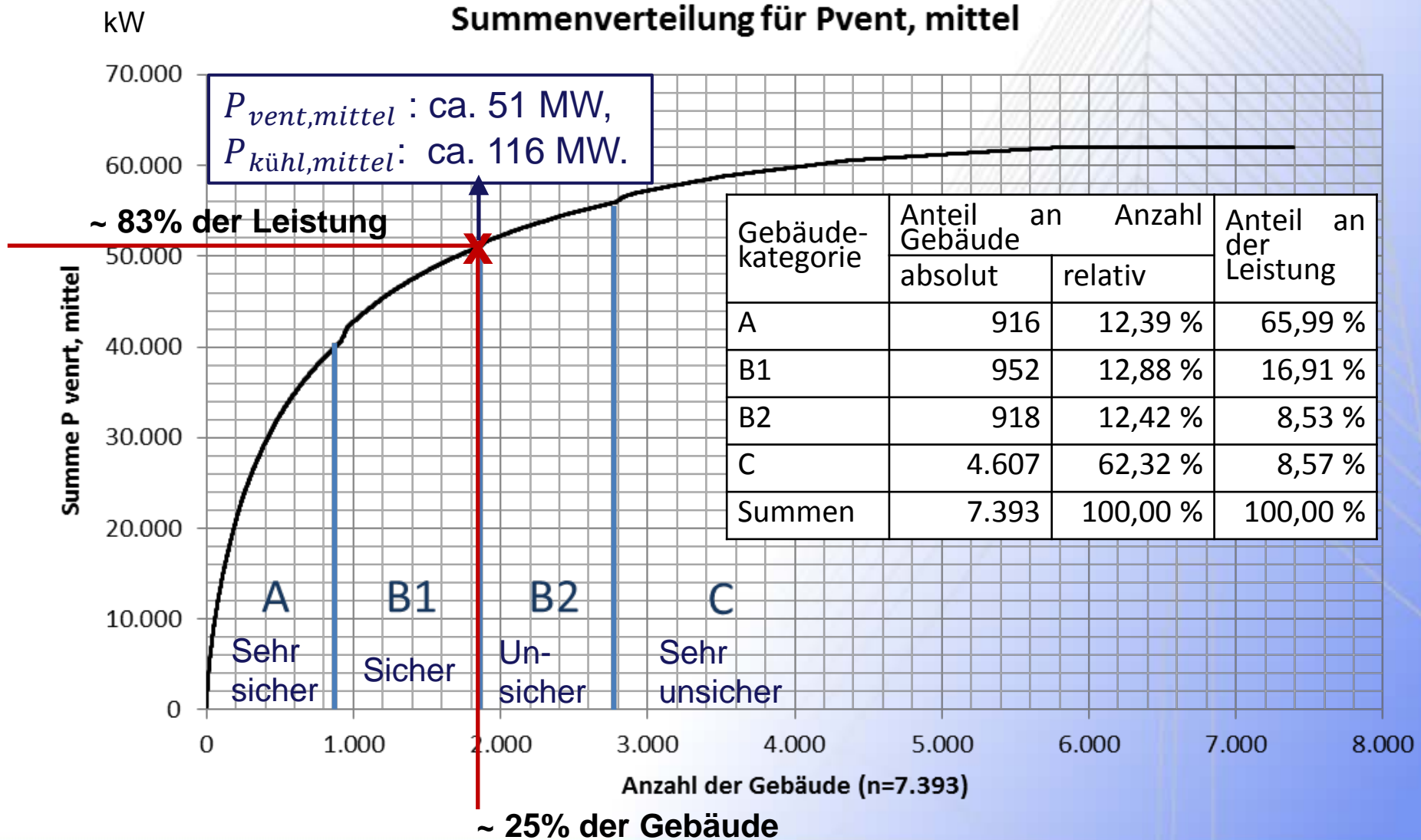
Überall dort,

- wo (nicht speicherbarer) Strom in speicherbare Nutzenergie (z.B. Wärme) umgewandelt wird und
- wo zur Nutzenergieerzeugung Strom fossile Energieträger zeitweise ersetzen kann.

3 Beispiele aus dem C4DSI:

1. Lastverlagerung in Gebäuden
(Gebäude als thermische Speicher
bzw. träge Systeme)

Potential zur Lastverlagerung aus Lüftung und Kälte in Bürogebäuden (und Hochschulen) in Hamburg: Summenverteilung

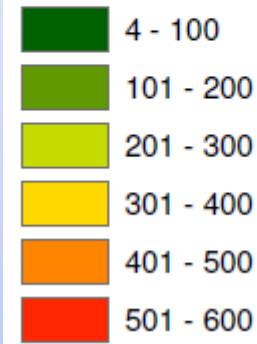


Verlagerbare Leistung aus Lüftungsanlagen in Bürogebäuden in der Hamburger Innenstadt



Legend

LMS_flurstuecke
MEAN_VENT in kW



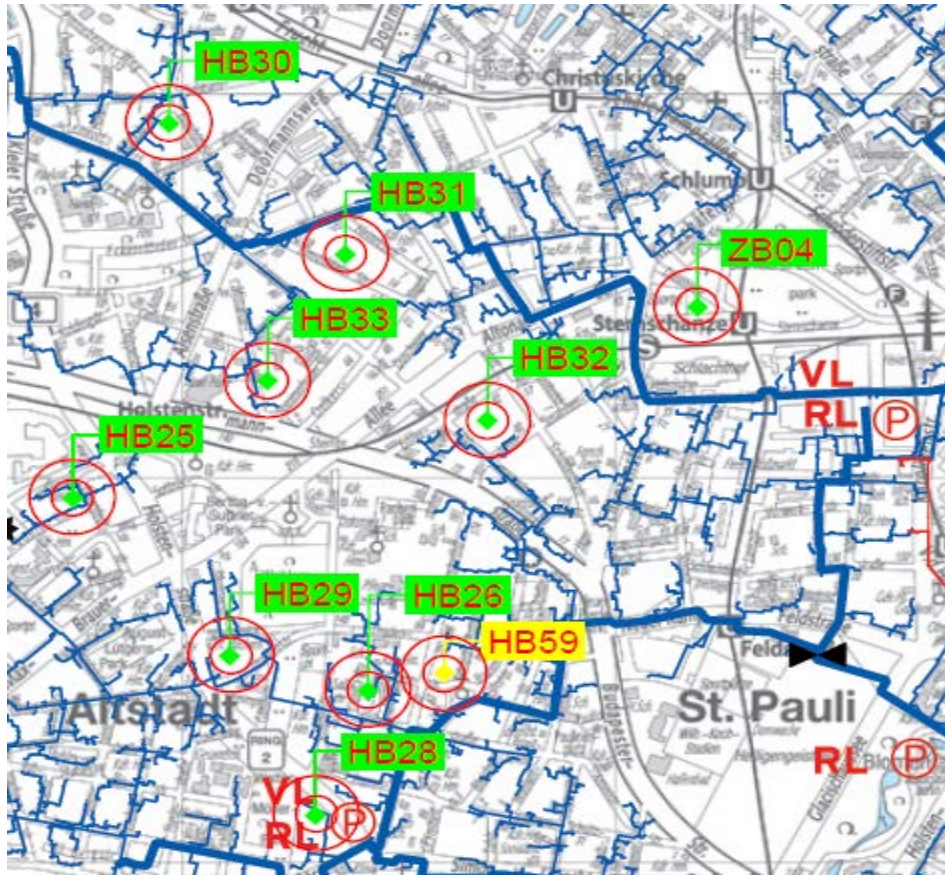
3 Beispiele aus dem C4DSI:

2. Potenziale dezentraler Wärmespeicher in Hochbunkern mit (teilweise) stromgeführten KWK Anlagen

Ein Ergebnis aus dem Projekt Smart Power Hamburg
(Kooperationspartner Hamburg Energie, RWTH Aachen)

Smart Power Hamburg: Wärmespeicher in der Stadtinfrastruktur für (zeitweise) stromgeführte KWK

Beispiel: Alte Hochbunker



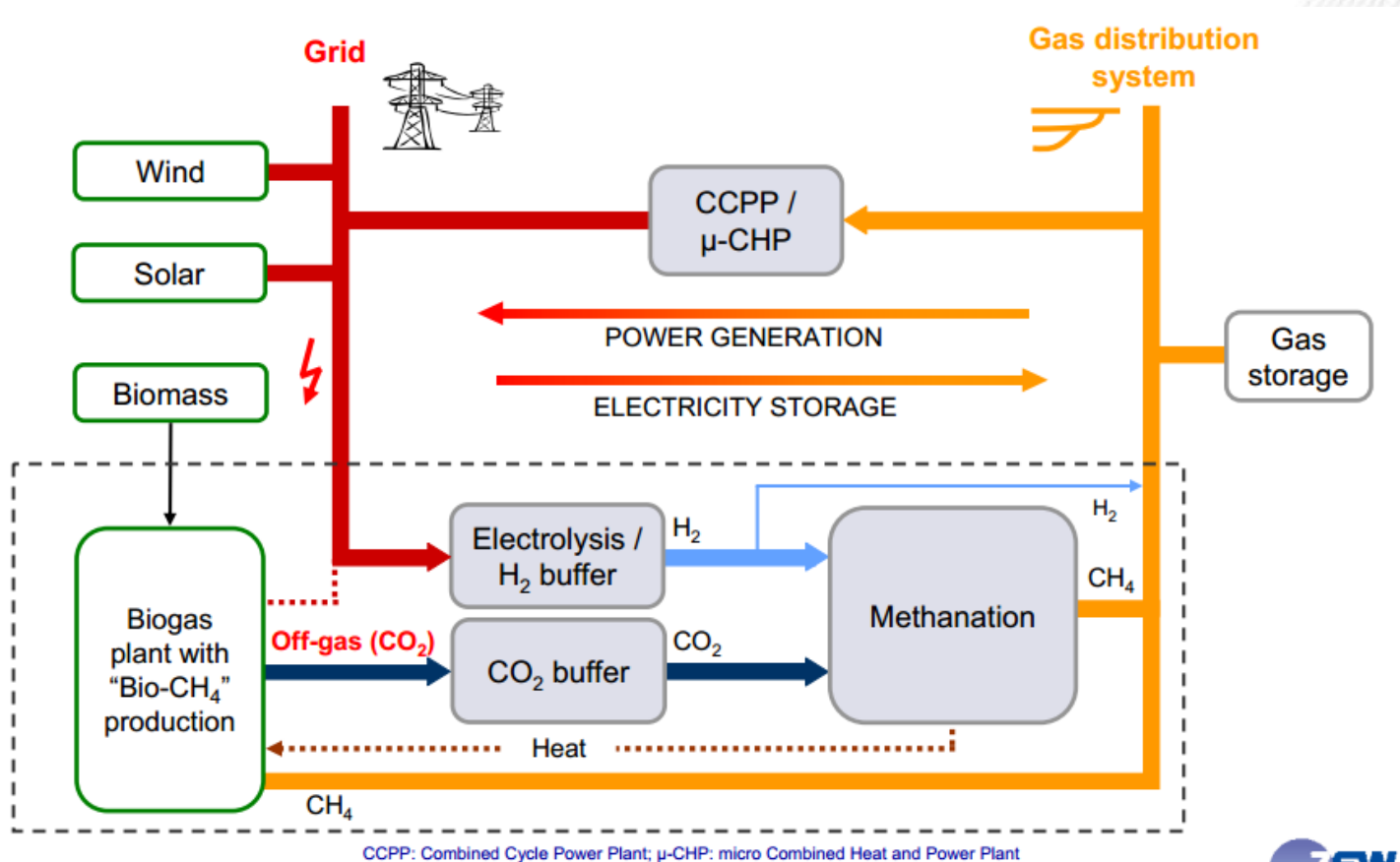
- Etwa 600 alte Bunker in Hamburg.
- Davon rund 200 ungenutzte Hochbunker.
- Davon rund 25 geeignet für dezentrale KWK mit großen Speichern.
- Davon 10 Premiulagen (sehr nahe an Netzen (Strom, Gas, FW)).
- Speichervolumen 22.500 m³
- Wärmespeicherkapazität rund 1,2 GWh für bis zu 30h im Winter.
- Deckung 5% der Wärmelast
- ~ 25 MW el. / ~50 MW th.

3 Beispiele aus dem C4DSI:

3. „Power to Heat“ bzw. „Power to Saved Gas“:
Am Beispiel Prozesswärme (Dampf) in der Industrie

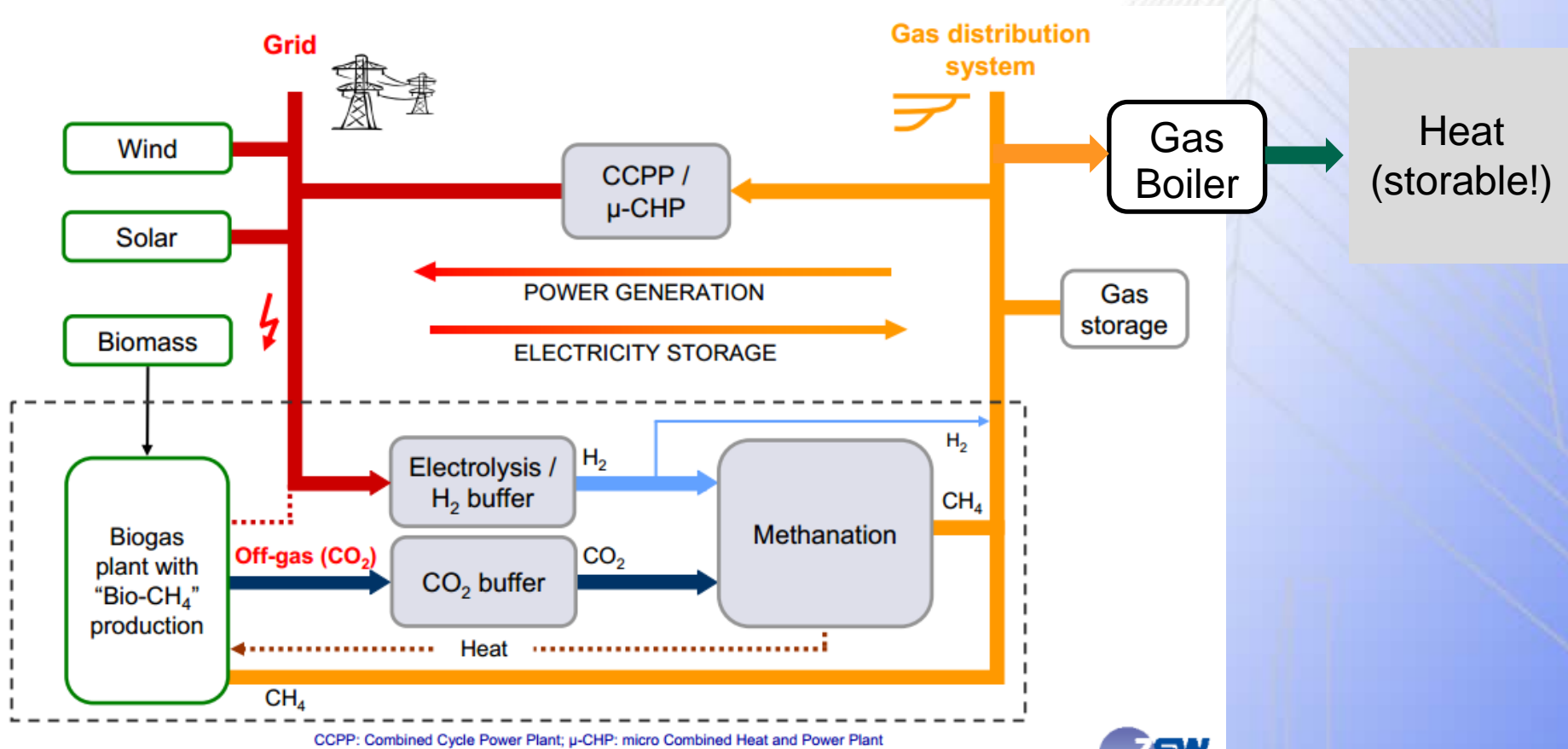
(Kooperationspartner div. Unternehmen)

Power-to-Gas zur Speicherung überschüssiger EE



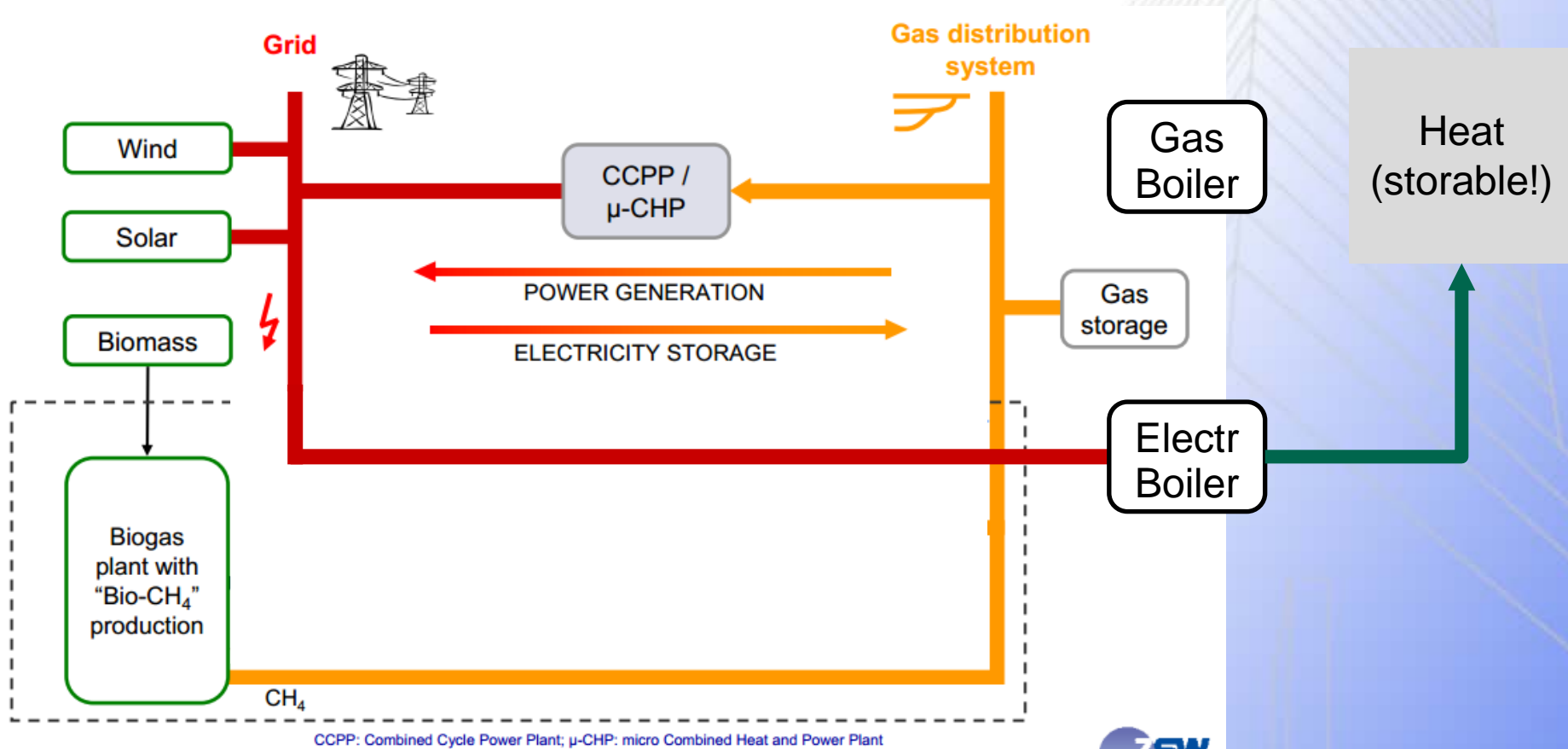
CCPP: Combined Cycle Power Plant; μ -CHP: micro Combined Heat and Power Plant

Aber Power-to-Gas und gleichzeitig Gas-to-Heat?



CCPP: Combined Cycle Power Plant; μ-CHP: micro Combined Heat and Power Plant

Aber Power-to-Gas und gleichzeitig Gas-to-Heat?



CCPP: Combined Cycle Power Plant; μ-CHP: micro Combined Heat and Power Plant

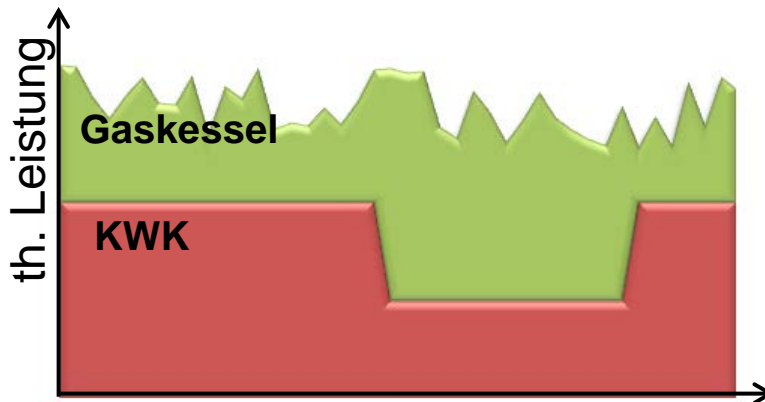
„Power to saved gas“ in Industrieunternehmen: Ein Beispiel

- Industrieller Betrieb mit konstantem, hohem Wärmebedarf:
- Wärmeversorgung über Gasturbine in Kombination mit Gaskesseln:
 - elektrische Leistung: 5 MW_{el}
 - Thermische Leistung: $10 \text{ MW}_{\text{th}}$
 - Lastreduktion auf 50% der Nennleistung zulässig
 - Gasturbine auf Grundlast dimensioniert (8.000 VLS)
- Stromversorgung:
 - Bezugspreis: 12 cent/kWh
 - Mittlerer Stromverbrauch: 4 MW
 - Jahreshöchstlast: 5 MW
 - KWK-Strom wird selber verbraucht
 - KWK Vergütung 6 Ct

„Power to saved gas“ in Industrieunternehmen: Ein Beispiel

Szenario 1:

Substitution durch Spitzenlastkessel
=> angeboten Regelleistung 2,5 MW

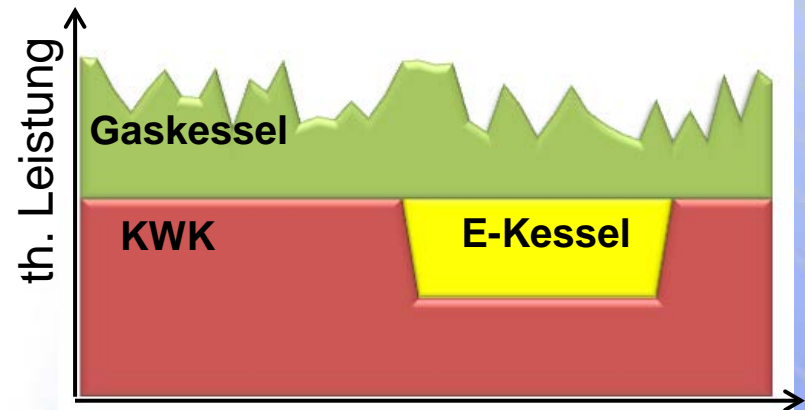


Gaseinsparung in Szenario 1:
Brennstoffeinsparung KWK minus Brennstoffmehrbedarf Gaskessel.

Gaseinsparung in Szenario 2:
Vollständig in Höhe der Brennstoffeinsparung KWK.

2. Szenario:

Substitution durch E-Kessel
=> angeboten Regelleistung 7,5 MW



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:

Hans Schäfers

Center for Demand Side Integration (C4DSI)

an der HAW Hamburg

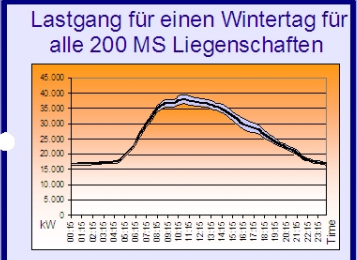
Alexanderstr. 1
10.Stock
20099 Hamburg

Hans.Schaefers (at) HAW-Hamburg.de

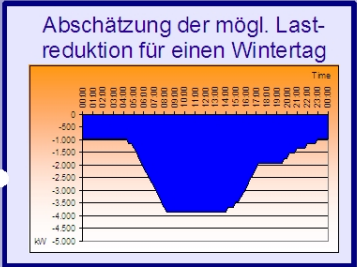
Untersuchtes System: Bildung eines Bilanzkreises von 120 Liegenschaften auf MSE mit einem Netzwerk aus 120 Smart Metern und 20 Standard-Lastmanagementanlagen (Matlab/Simulink).



Szenario 1:
Bilanzkreis ausregeln (smart balancing)



Szenario 2:
Minutenreserve liefern



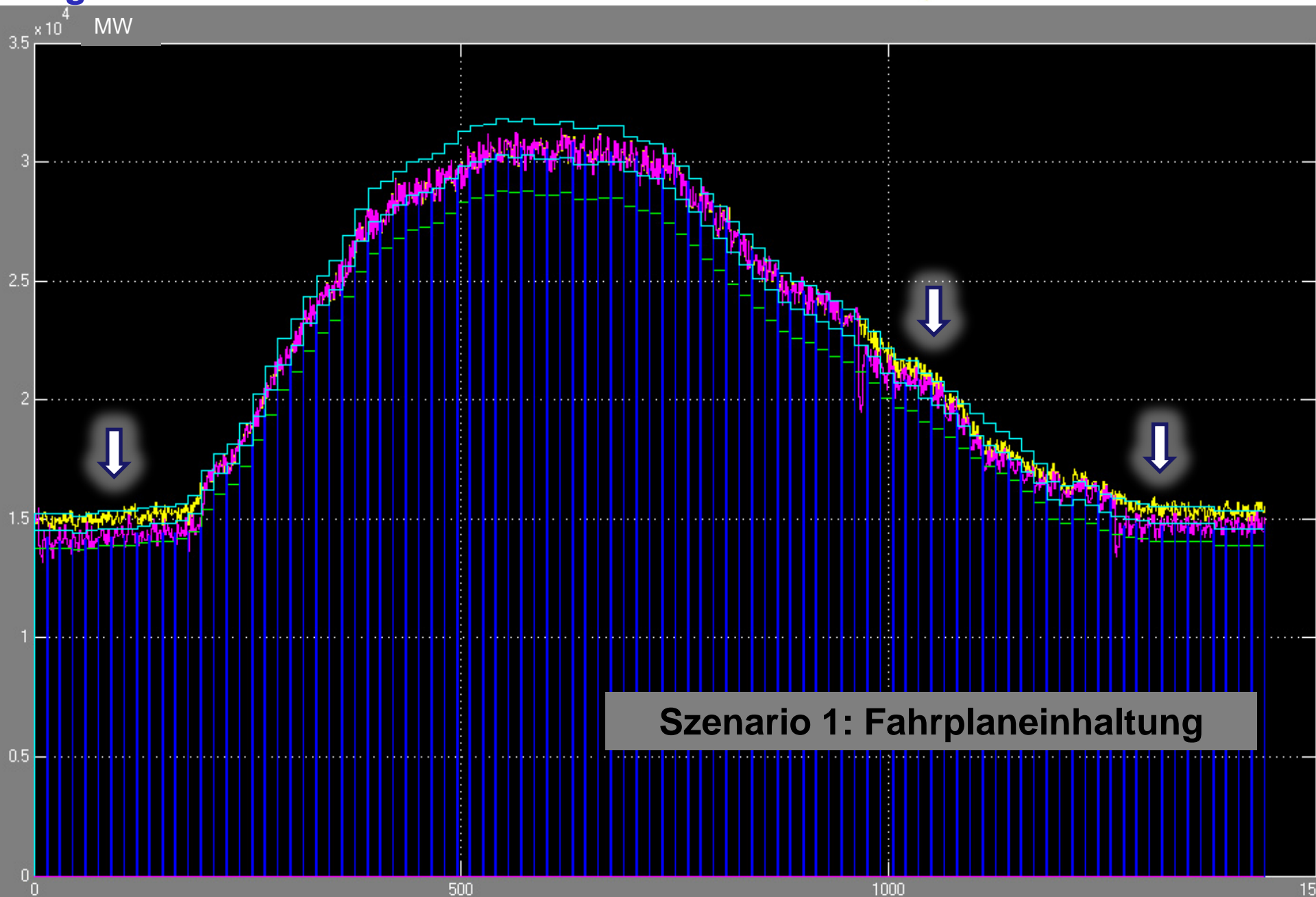
Lastprognose und Berechnung zur Verfügung stehender Reserveenergie



INSEL
Ein Baustein im Smart Grid Hamburg

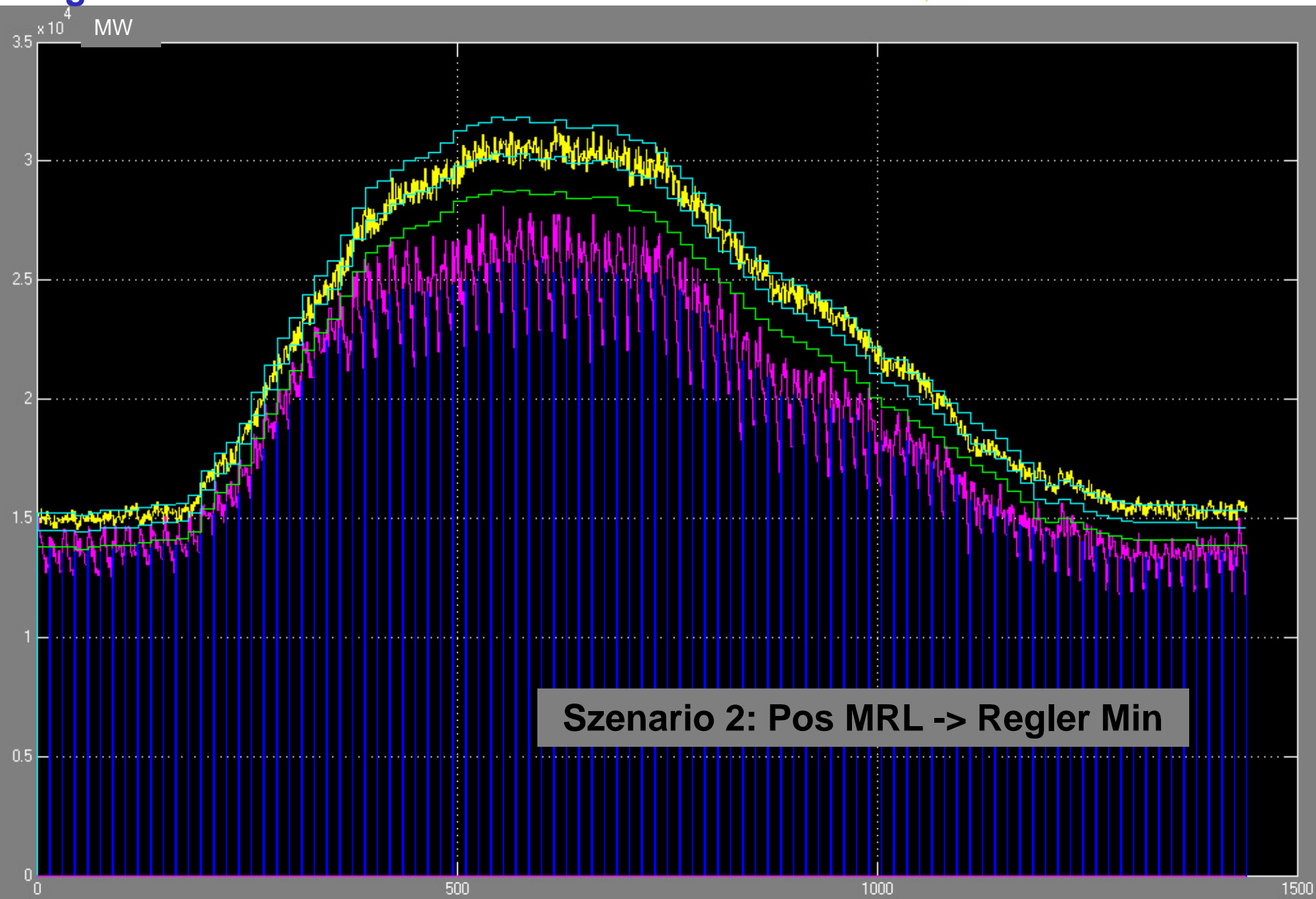
Lastgang der FHH Gebäude auf Mittelspannung

Ergebnisse Mittwoch 2. Juli 2008



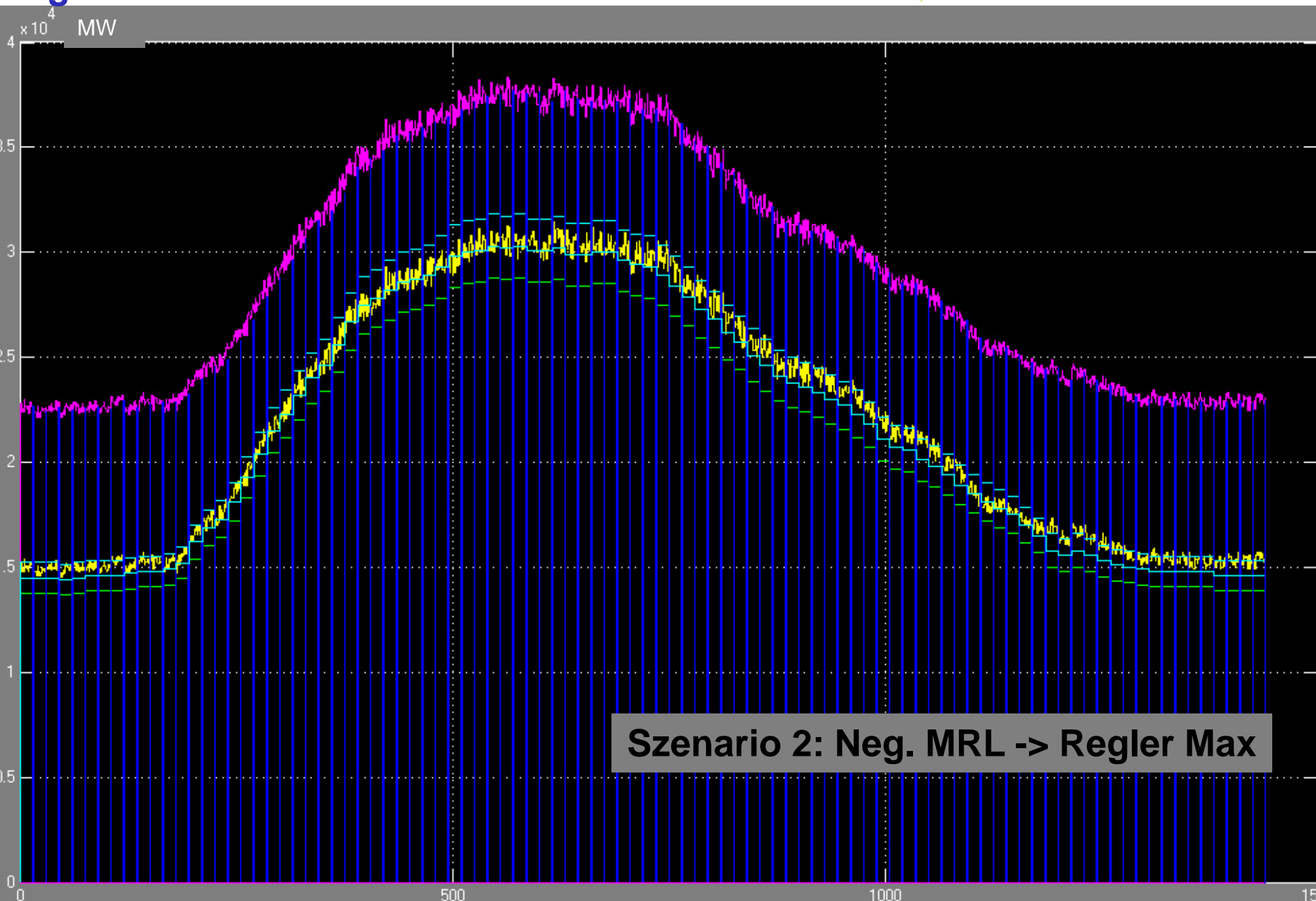
Lastgang der FHH Gebäude auf Mittelspannung

Ergebnisse Mittwoch 2. Juli 2008



Lastgang der FHH Gebäude auf Mittelspannung

Ergebnisse Mittwoch 2. Juli 2008



Wirtschaftlicher Nutzen für Industrieunternehmen

Ein Beispiel

Wirtschaftliche Bilanz:

Kosten:

- Nebenkosten Strombezug (EEG, NNE, Stromsteuer, etc.)
- Ausfall KWKG-Vergütung
- Ausfall Stromverkauf + vNNE
- Stromkosten E-Boiler stand-by

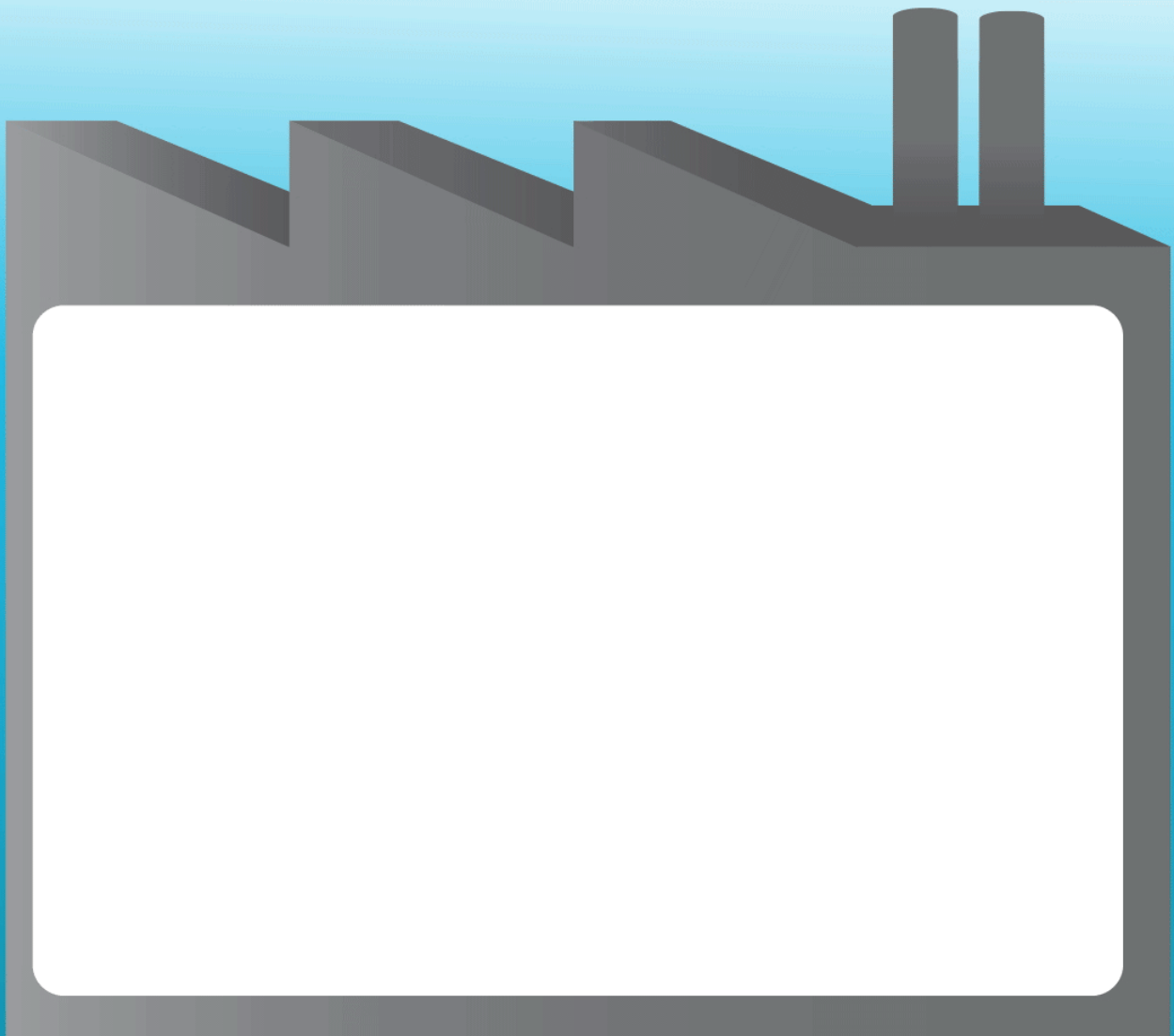
Erlöse:

- Erlöse aus Leistungspreis für Vorhaltung
- Erlöse aus Arbeitspreis für Erbringung
- Einsparungsertrag aus vermiedenem Gaseinsatz

Wirtschaftliches Potential:

	Substitution durch	angebotene Leistung	Σ Kosten p.a.	Σ Erlöse p.a.	Ergebnis p.a.
Szenario 1	Gas	2,5 MW	40.000€	310.000€	270.000€
Szenario 2	Strom	7,5 MW	130.000€	670.000€	540.000€

50 Hz



50 Hz



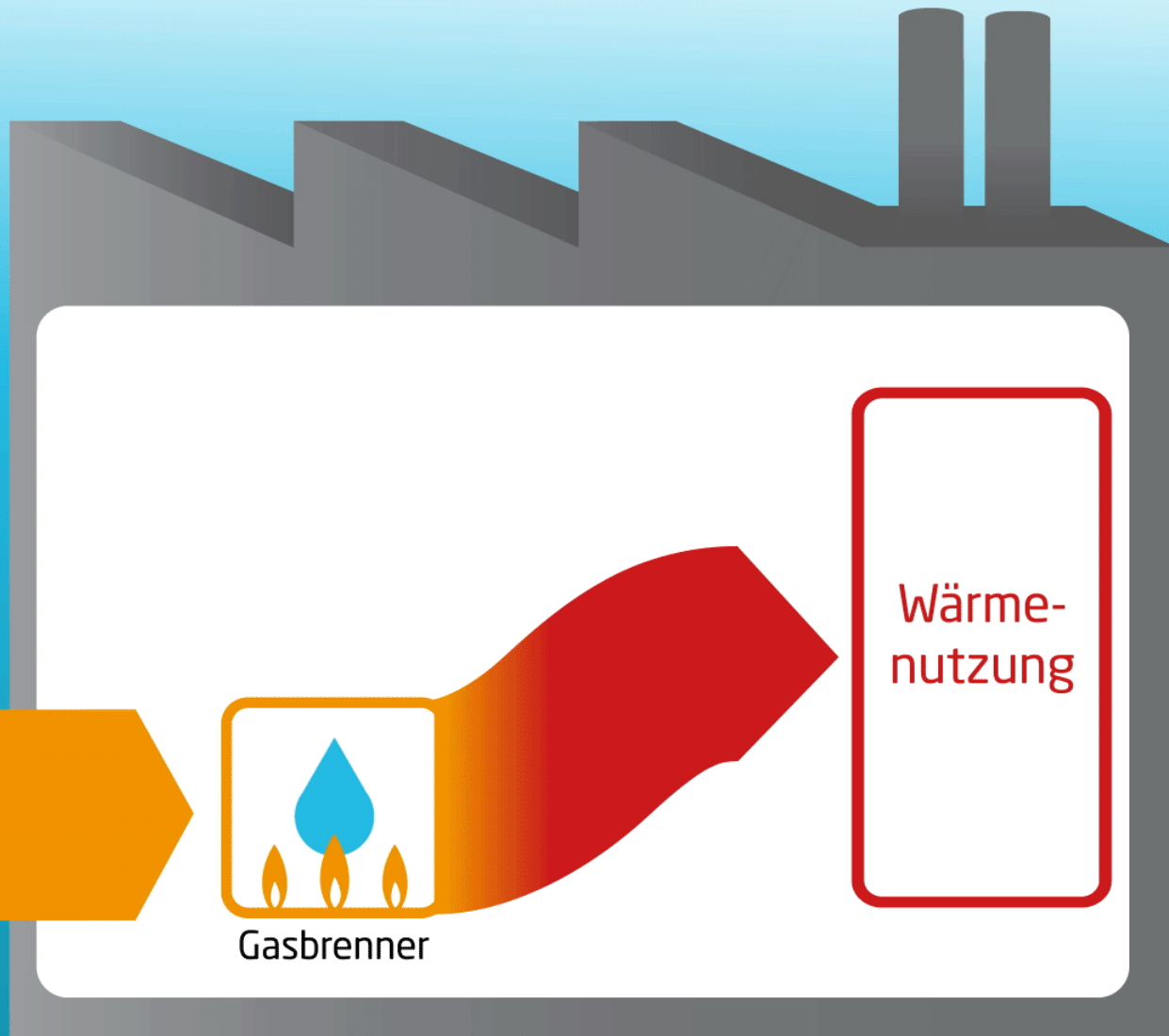
 Gas



Gasbrenner



Wärme-
nutzung

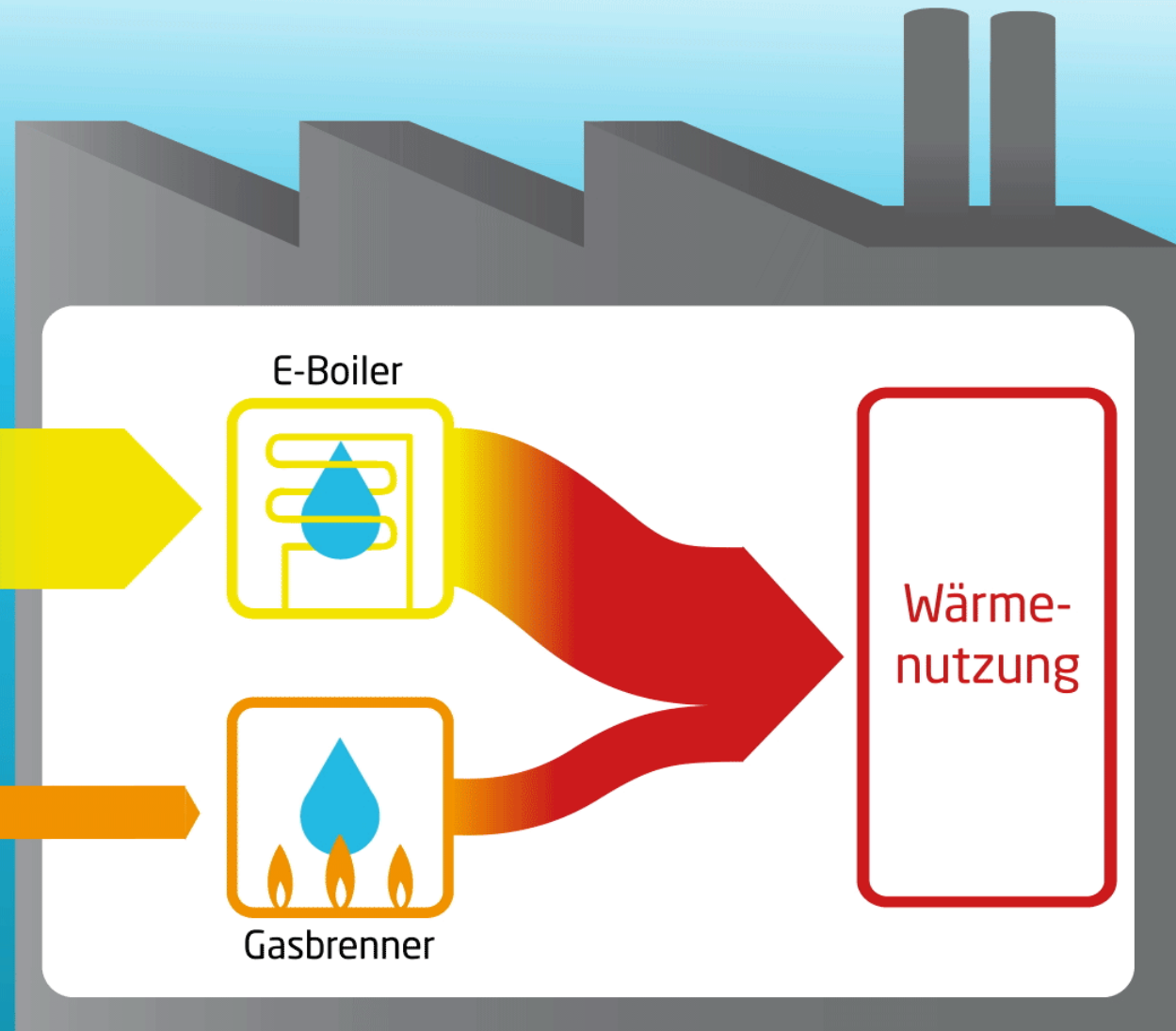




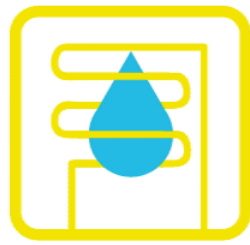
⚡ Strom



🔥 Gas



E-Boiler



Gasbrenner

Wärmenutzung



Eingespartes Gas

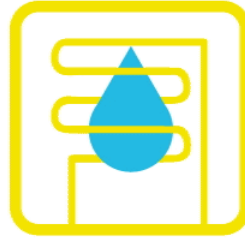
50 Hz



Gas



E-Boiler



Gasbrenner



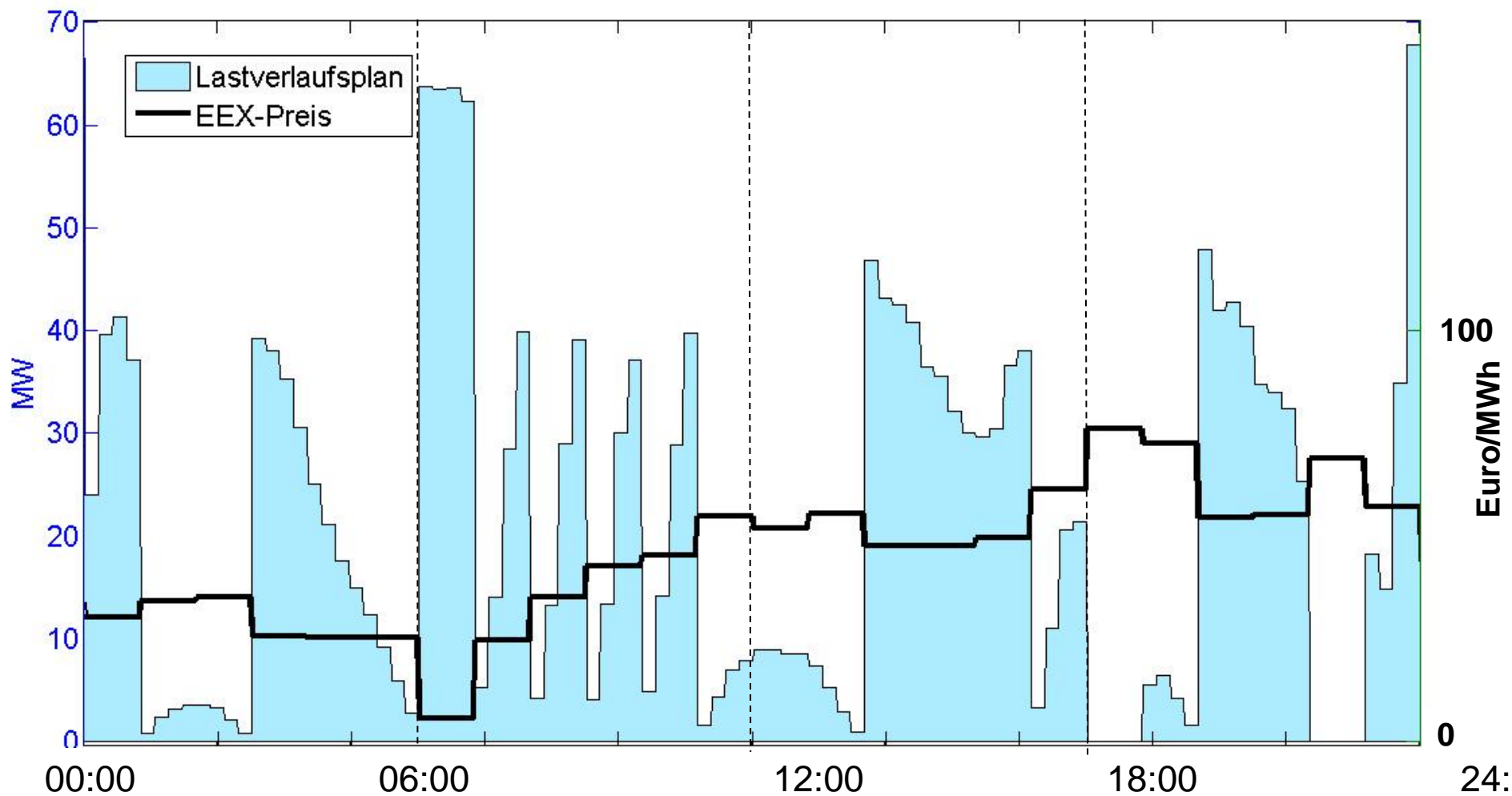
Wärme-
nutzung



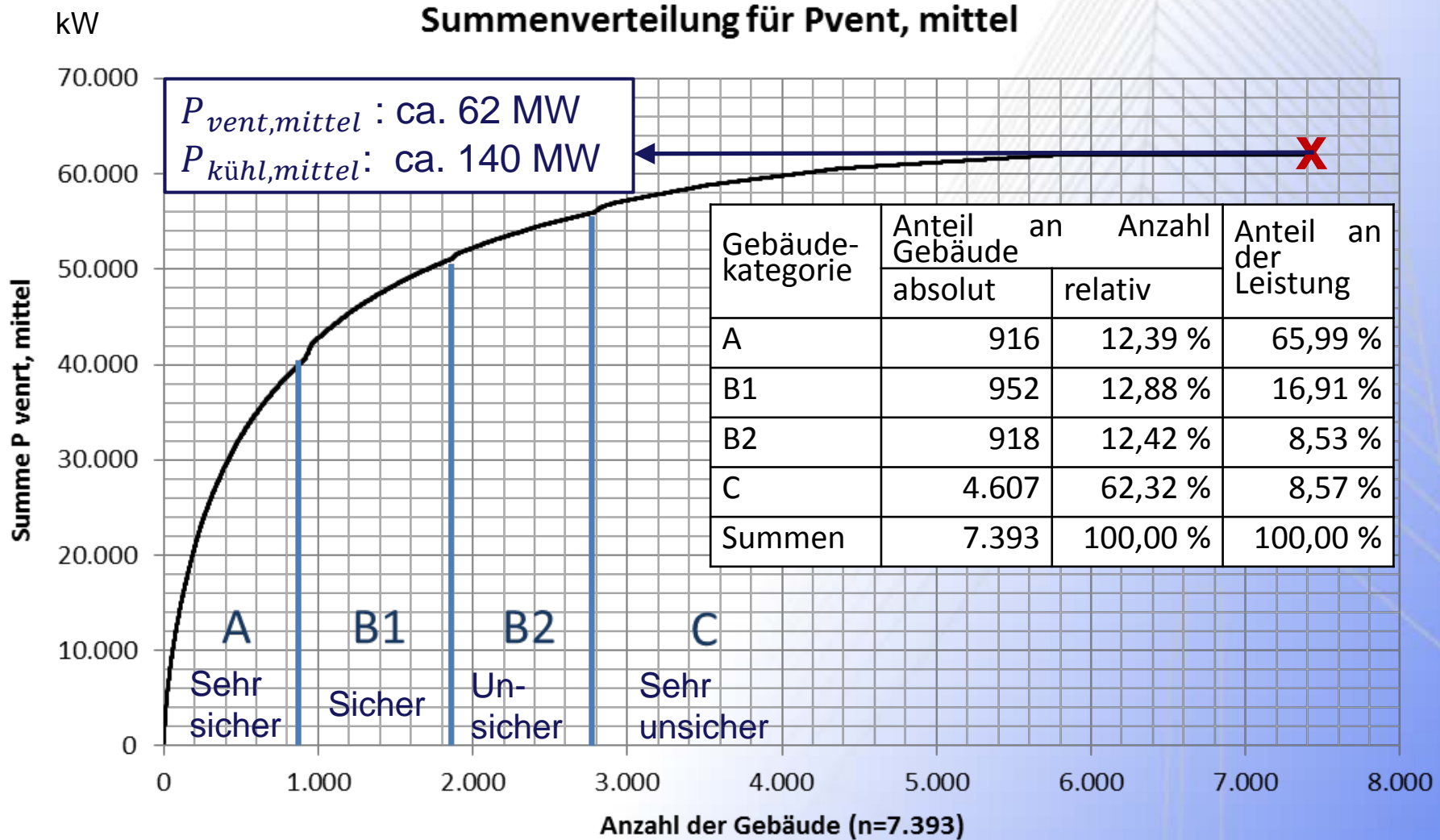
Eingespartes
Gas

Lastverlaufsplan 20.000 WP nach EEX-Preisen

Massensimulation mit 20000 SW-WP



Qualitatives und quantitatives Potential für Büro- und HS-Geb. in Hamburg: Summenverteilung



DSI, DSM und DR: Definitionen

Definition Demand Side Integration DSI:

DSI umfasst alle Aktivitäten zur Flexibilisierung der Stromverbrauchsseite. DSI ist der Sammelbegriff für Demand Side Management (DSM) und Demand Response (DR).

$$\mathbf{DSI = DSM + DR}$$

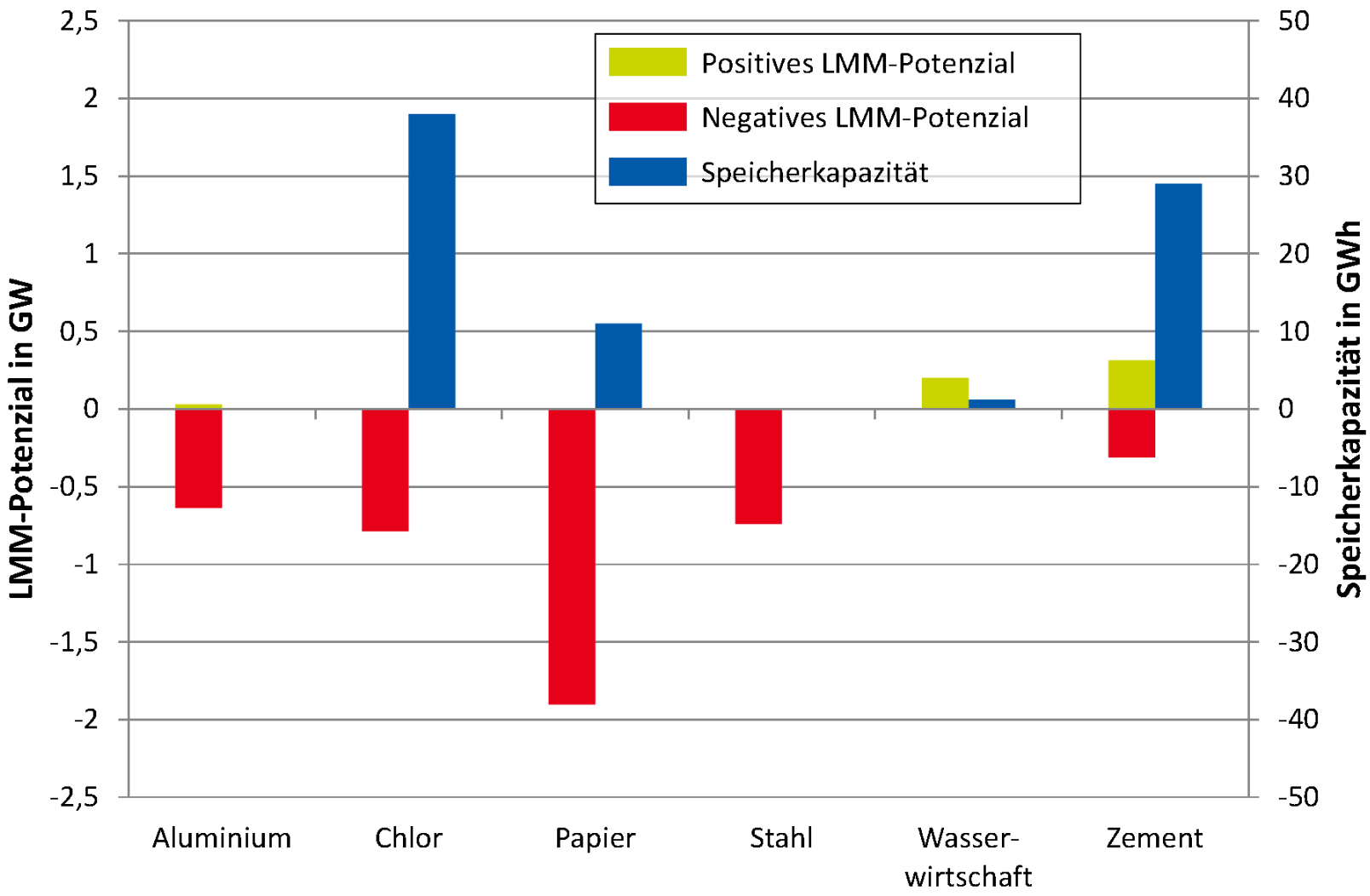
Demand Side Management (DSM):

DSM bezeichnet die direkte Beeinflussung des Energiebedarfs der Verbraucherseite (Regelung/Steuerung über automatisierte Systeme). Laständerungen durch DSM sind bei existenten Feed Back Systemen in ihrer Höhe wissbar.

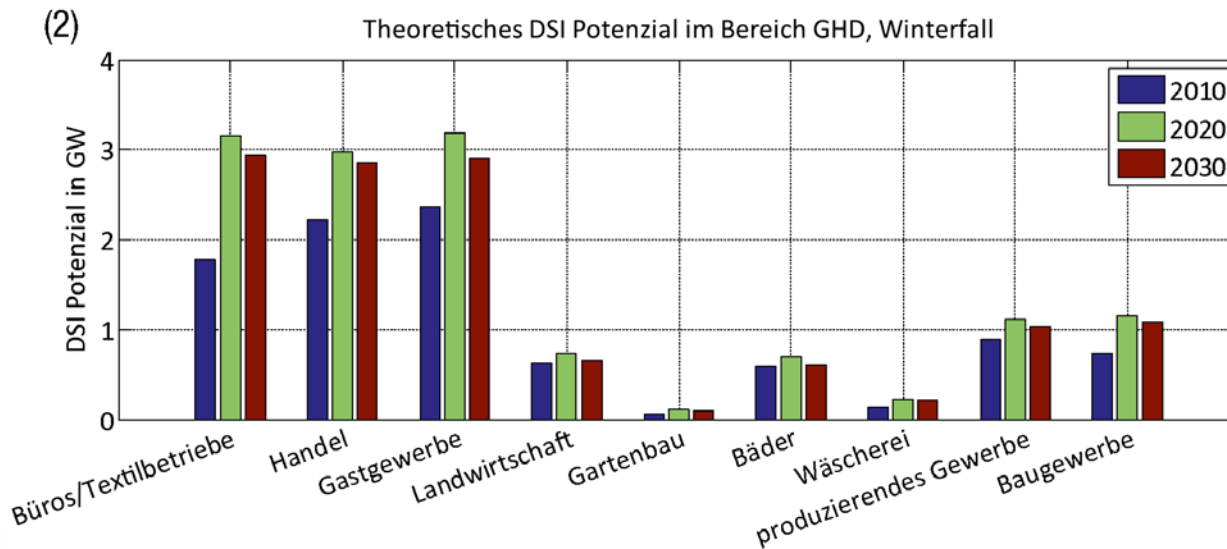
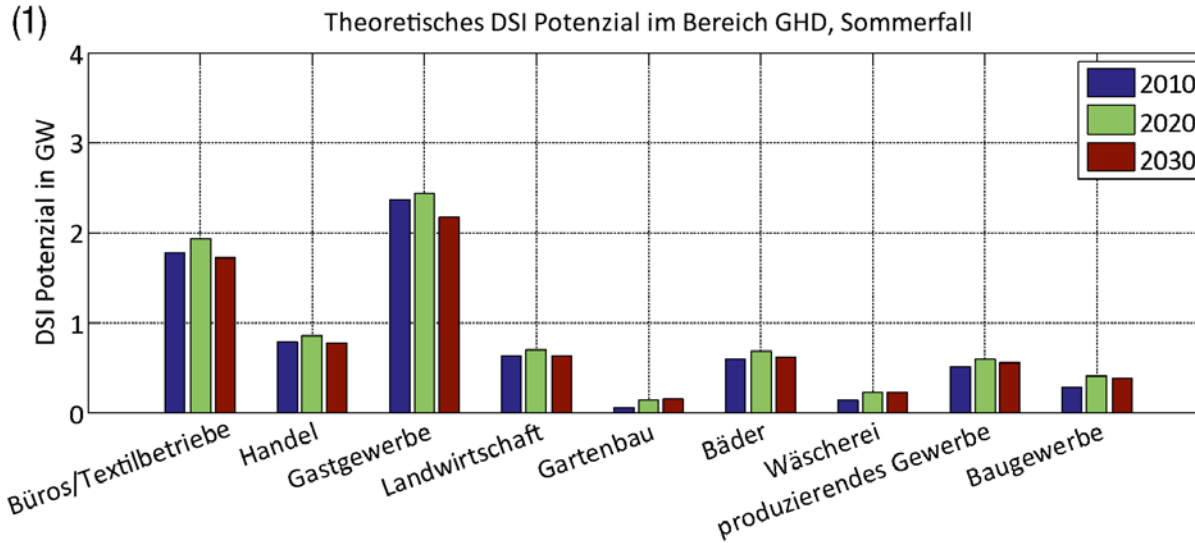
Demand Response (DR):

DR bezeichnet die indirekte Beeinflussung des Energiebedarfs der Verbraucherseite durch variable Preise oder ähnliche indirekte Stellgrößen. Laständerungen durch DR sind im Vorhinein nur prognostizierbar.

Lastverlagerungspotenziale in Deutschland: Industrie



Lastverlagerungspotenziale in Deutschland: GHD



DSI Potentiale in Deutschland: Theoretische Potentiale nach Sektoren

	Theoretische Potentiale in GW		
Sektor	2010	2020	2030
Industrie	4,5	4,5	4,5
GHD	7	11	11
Haushalte	13	18	35
Summe	24,5	33,5	50,5

Quelle: VDE ETG Studie DSM.

Prinzipielle (mögliche) "Businesscases" für Verbraucherlasten (Demand Side Management)

- Individuelle Spitzenlastreduktion
 - Reduktion der bezogenen Maximalleistung
- Spotmarkt/Intraday
 - Handel von Fahrplanenergie am Strommarkt
 - Variable Tarife
- Ausgleich von Bilanzkreisungleichgewichten
 - Reduktion der Ausgleichsenergiekosten
- Angebot von Regelenergie oder Abschaltleistung (§13 EnWG, AbLaV)
 - Vermarktung von Lasten auf dem Reservemarkt
- Stabilität / Engpassmanagement im Stromnetz
 - Steuerung von Lasten durch die Netzbetreiber

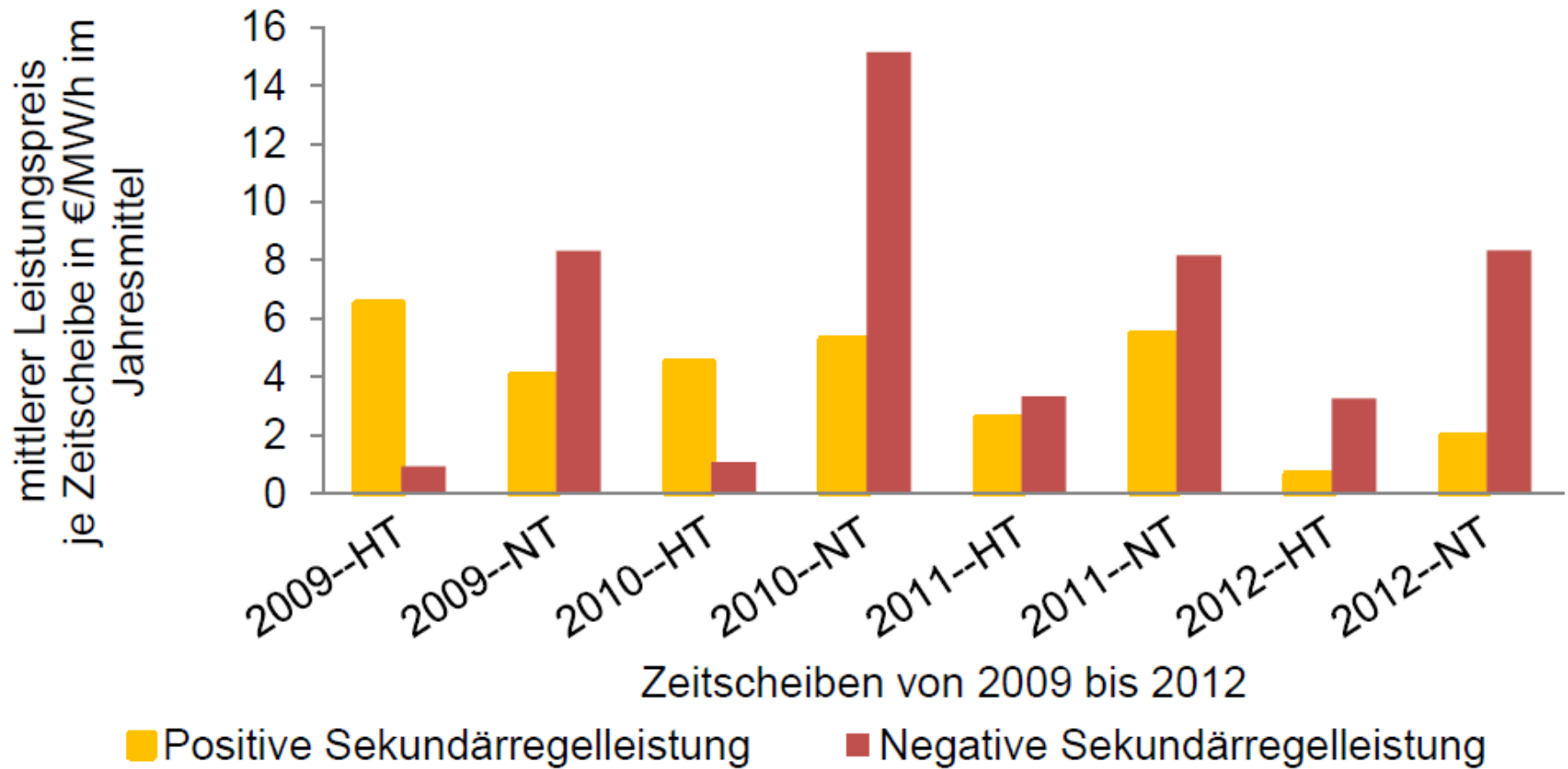
Lokales
DSM

Zentrales
DSM

Abschaltverordnung als Baseline?

- Ausschreibung durch die ÜNB über Regelenergieplattform.
- Derzeit rund 1 GW vermarktet (Stand 08/13)
- Losgrößen min. 50 MW pro Regelzone. Pooling möglich.
- Abruf automatisch entweder frequenzgesteuert (PRL) oder innerhalb von 15 min (MRL)
- Leistungspreis 30.000 €/MW*a
- Arbeitspreis zwischen 100 u. 400 €/MWh

Entwicklung der Erlösmöglichkeiten im Sekundärregelleistungsmarkt



Zwischenfazit II

Für den gewinnbringenden Einsatz flexibler Lasten ist derzeit der wettbewerbliche und regulatorische Rahmen nur bedingt vorhanden.

Die Realisierung von Erlösen setzt eine Analyse der individuellen Potenziale und i. d. R. durch eine (gute) Beratung voraus.

In den meisten (lukrativen) Fällen wird das Zwischenschalten eines Aggregators notwendig.

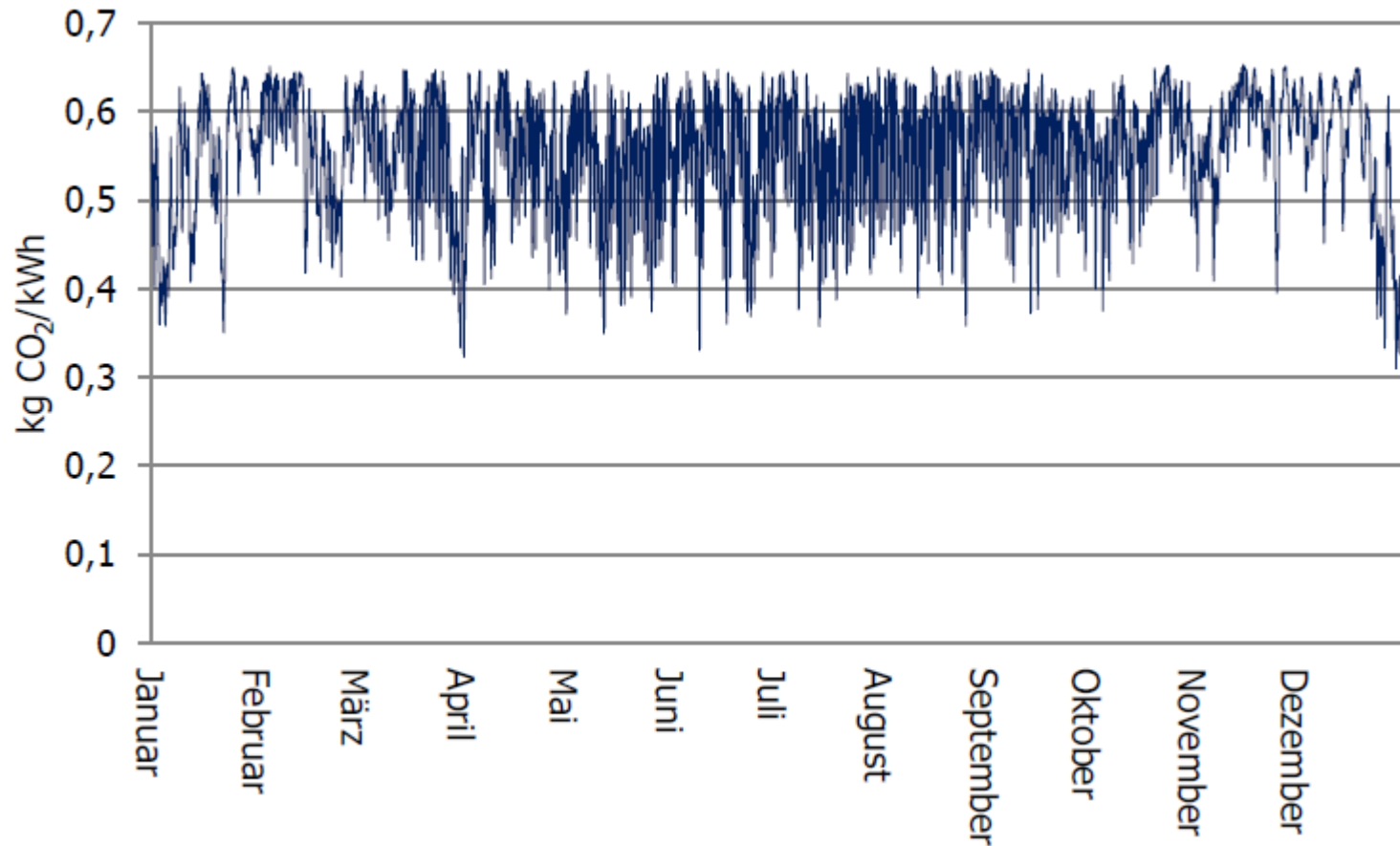
- Beispiele aus dem C4DSI
 - Potenzialermittlung
 - Analyse CO₂ Einsparung
 - Modellbildung und Simulation
(zur in FuE und zur Analyse von Business Cases)
 - Entwicklung Regelungsalgorithmen

- Beispiele aus dem C4DSI
 - Potenzialermittlung

- Beispiele aus dem C4DSI
 - Analyse CO₂ Einsparung durch DSI

Variation der CO₂ Äquivalenz der deutschen Stromproduktion 2012

Jahresmittel: 576 g CO₂/kWh (UBA)

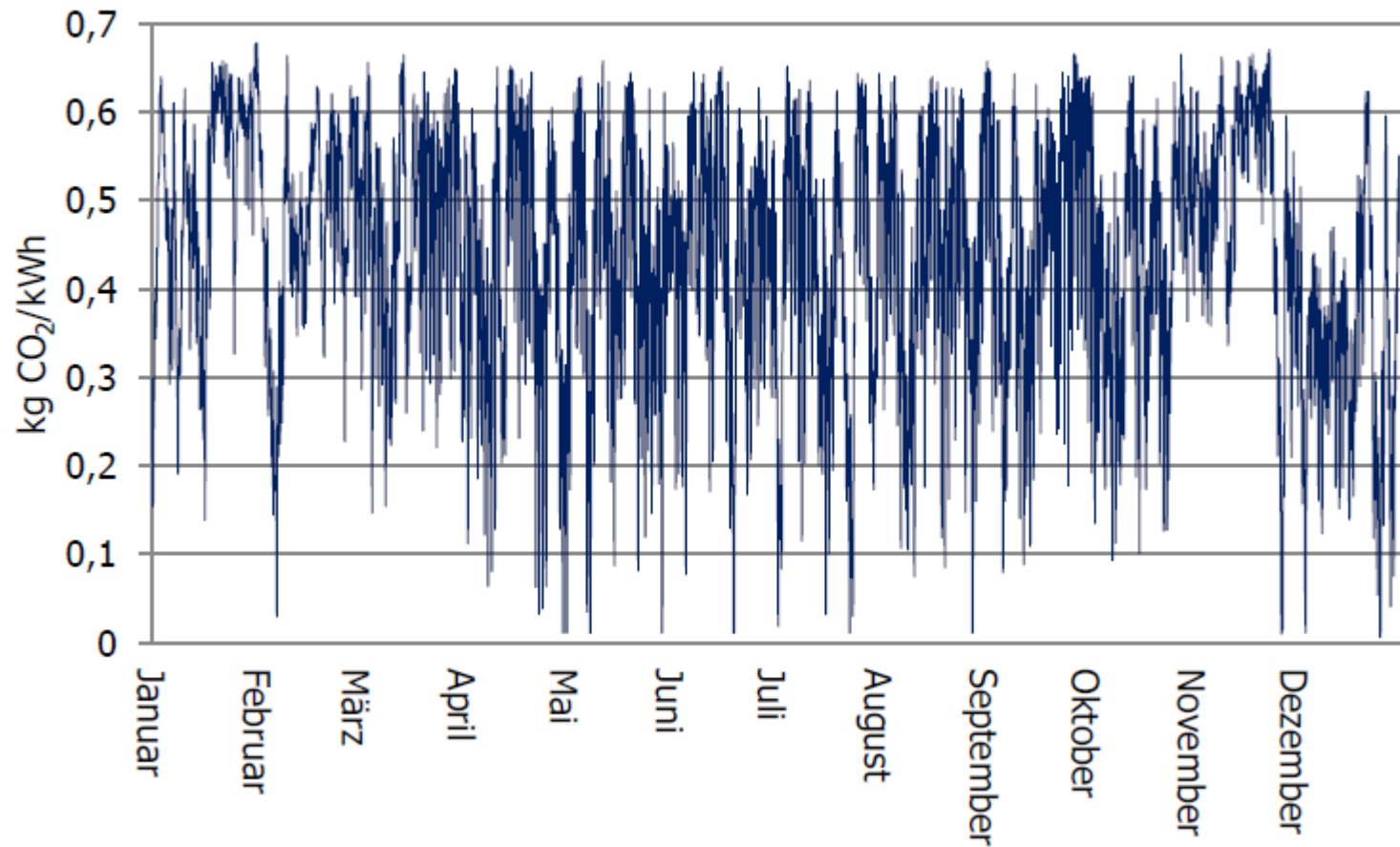


Quelle: Kulakow, H., 2014. (Masterarbeit für MVV im C4DSI)

Variation der CO₂ Äquivalenz der deutschen Stromproduktion 2020

Jahresmittel: ~420 g CO₂/kWh

Gebremster Ausbau auf ca. 50% EE (118 GW), keine Änderung Strommarktdesign

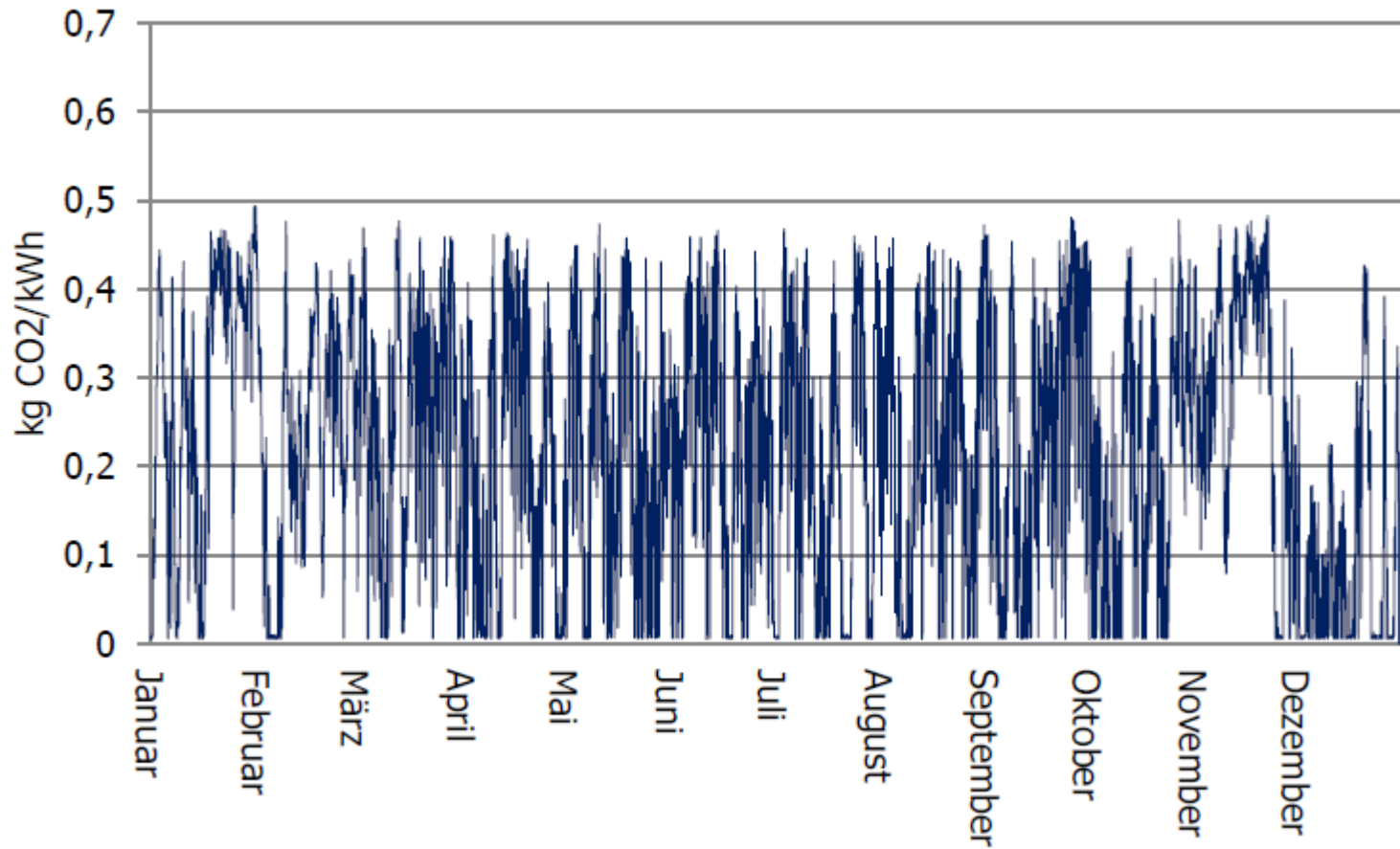


Quelle: Kulakow, H., 2014. (Masterarbeit für MVV im C4DSI)

Variation der CO₂ Äquivalenz der deutschen Stromproduktion 2030

Jahresmittel: ~200 g CO₂/kWh

Gebremster Ausbau auf ca. 70% EE (178 GW), keine Änderung Strommarktdesign

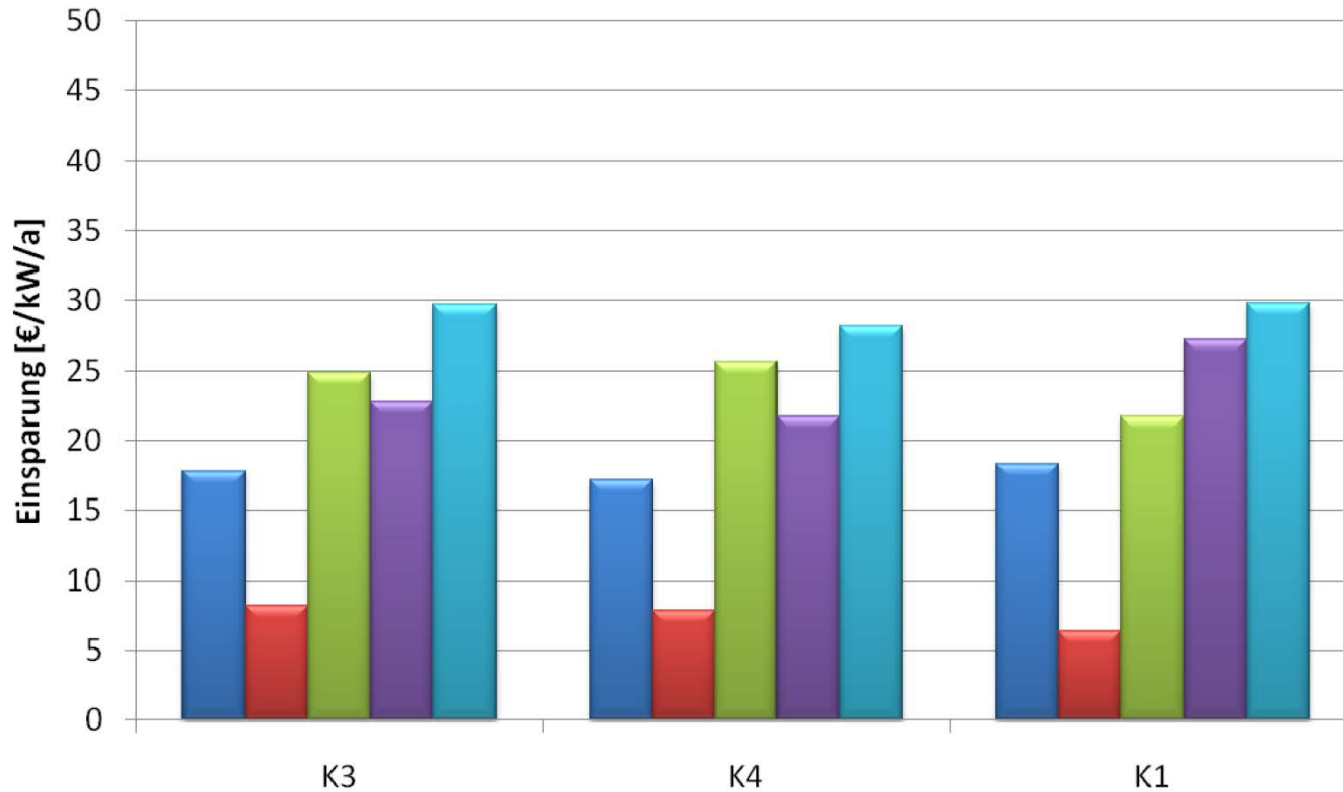


Quelle: Kulakow, H., 2014. (Masterarbeit für MVV im C4DSI)

- Beispiele aus dem C4DSI
 - Modellbildung und Simulation
(zur in FuE und zur Analyse von Business Cases)



Jahr 2010



■ Bezugsoptimierung

■ Regelenergie

■ Bezugopt+Regel

■ Bezugopt+AtypNN

■ Bezugopt+Regel+AtypNN

Smart Power Hamburg – A joint research project

- Lead Partner: HAMBURG ENERGIE
- Scientific Research by two universities: RWTH Aachen and HAW Hamburg
- Funded by BMWi as part of the funding initiative EnEff:Wärme
- Running time until end of 2014

GEFÖRDERT DURCH:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

FÖRDERPROGRAMM:



EnEff:Wärme

Forschung für
energieeffiziente Wärme- und Kältenetze

SMART POWER **HAMBURG**



Konsortialführer



HAW HAMBURG

Wissenschaftliche Begleitung

**RWTHAACHEN
UNIVERSITY**

[11],

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.

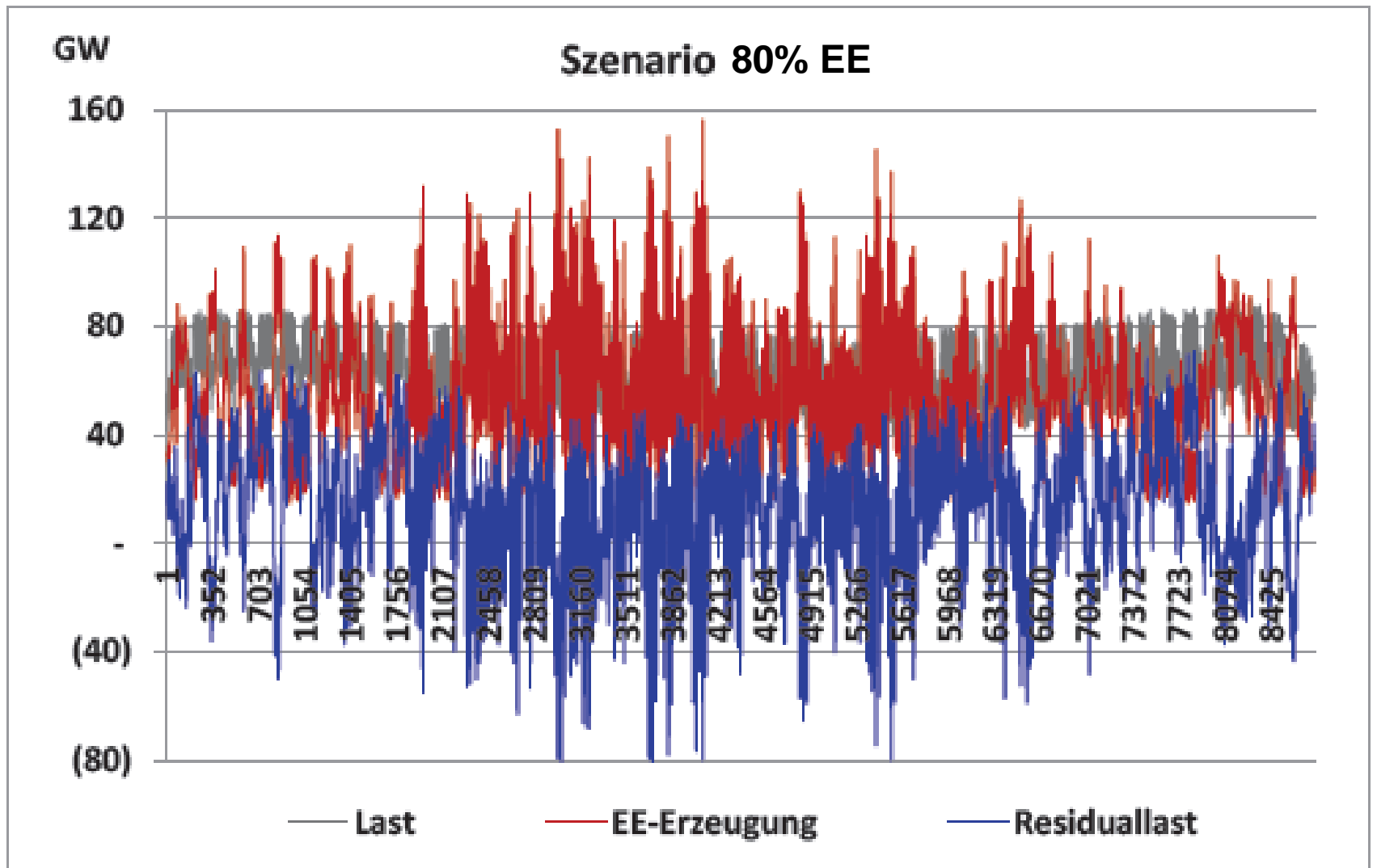
Kontakt:

Hans Schäfers, C4DSI, HAW Hamburg

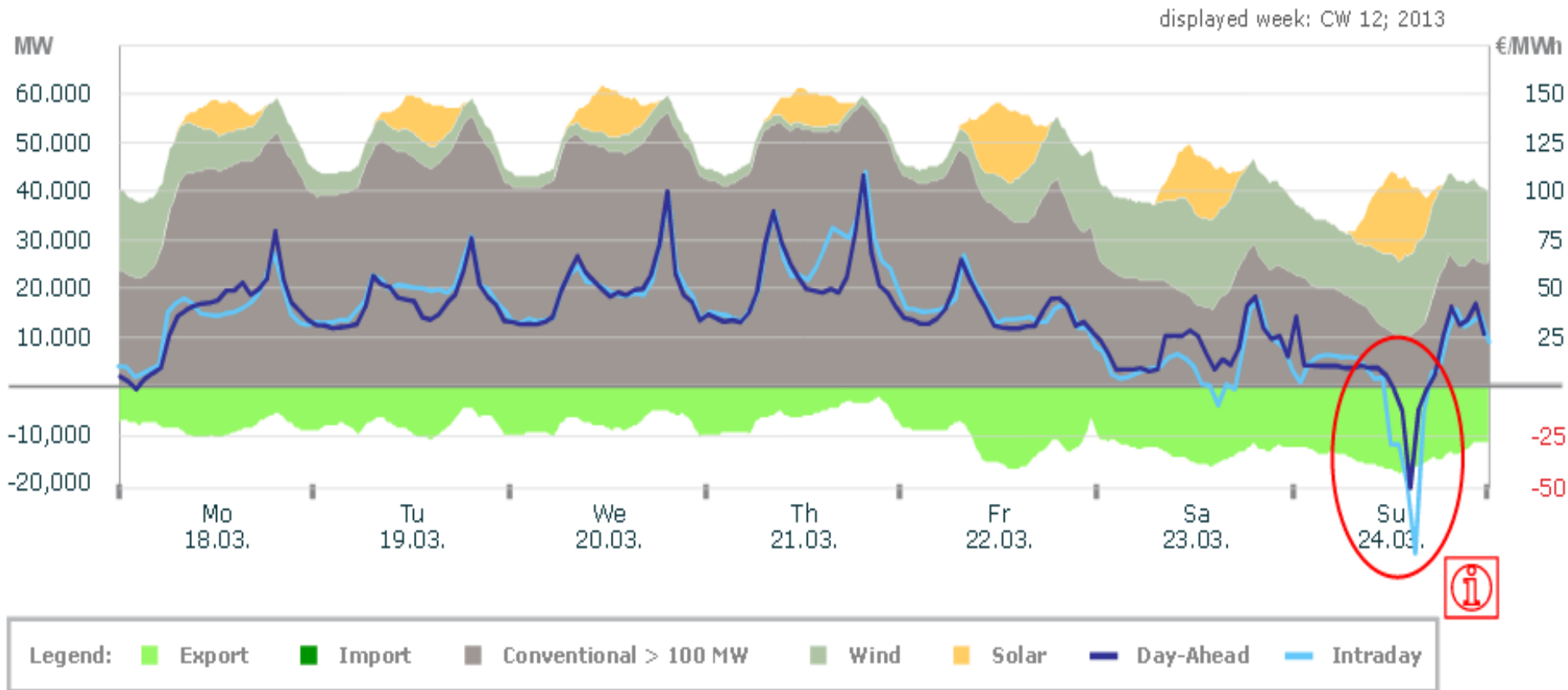
[hans.schaefers\(at\)haw-hamburg.de](mailto:hans.schaefers(at)haw-hamburg.de)

<http://www.haw-hamburg.de/c4dsi.html> (www.c4dsi.de)

Residuallast zukünftig



Electricity Production and Spot-Prices: CW 12 2013

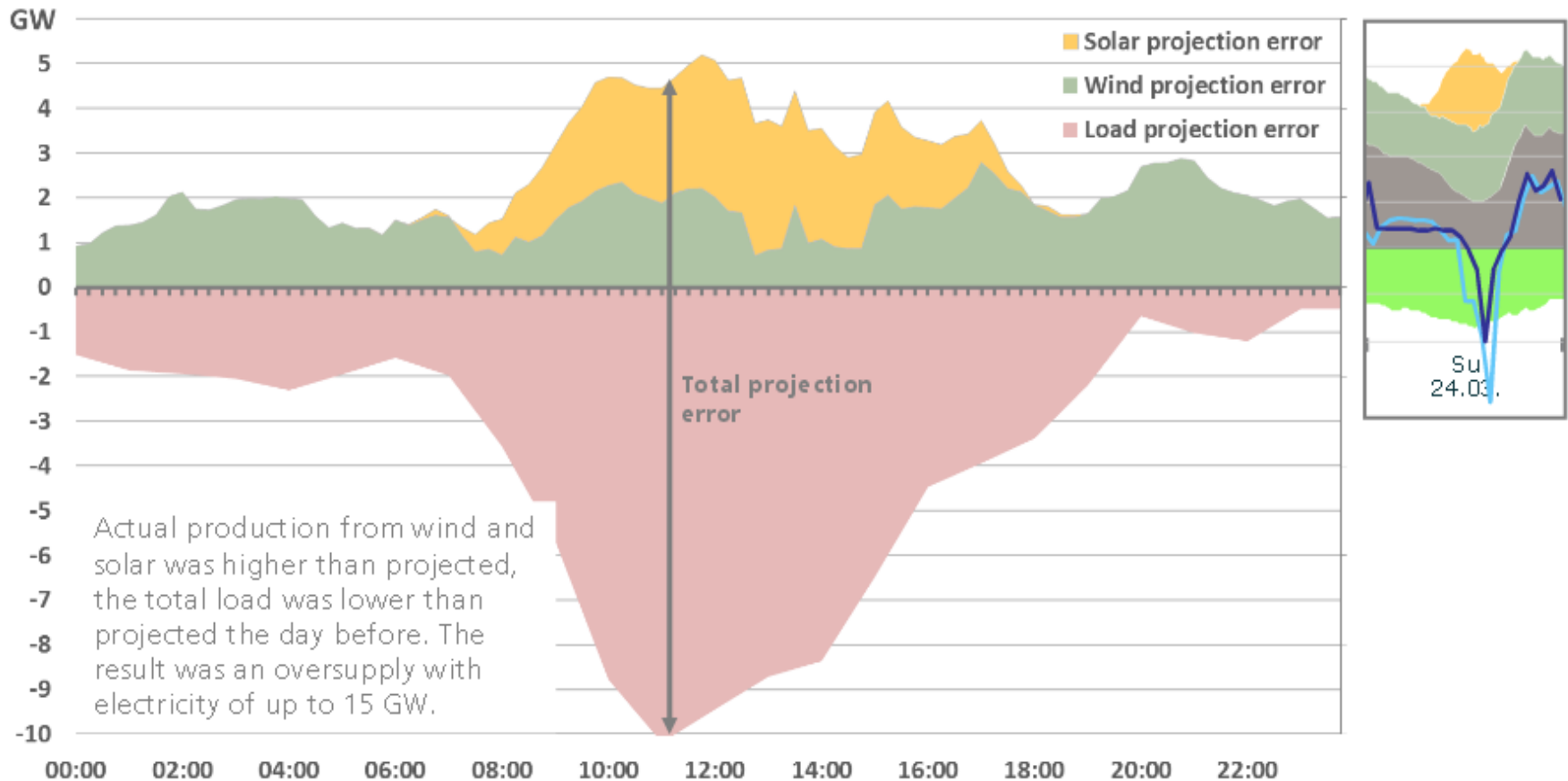


Quelle: Fraunhofer ISE, 2013

Analysis of the Negative Spot-Prices on 24.03.2013



Actual production/load minus projected production/load (from day before)



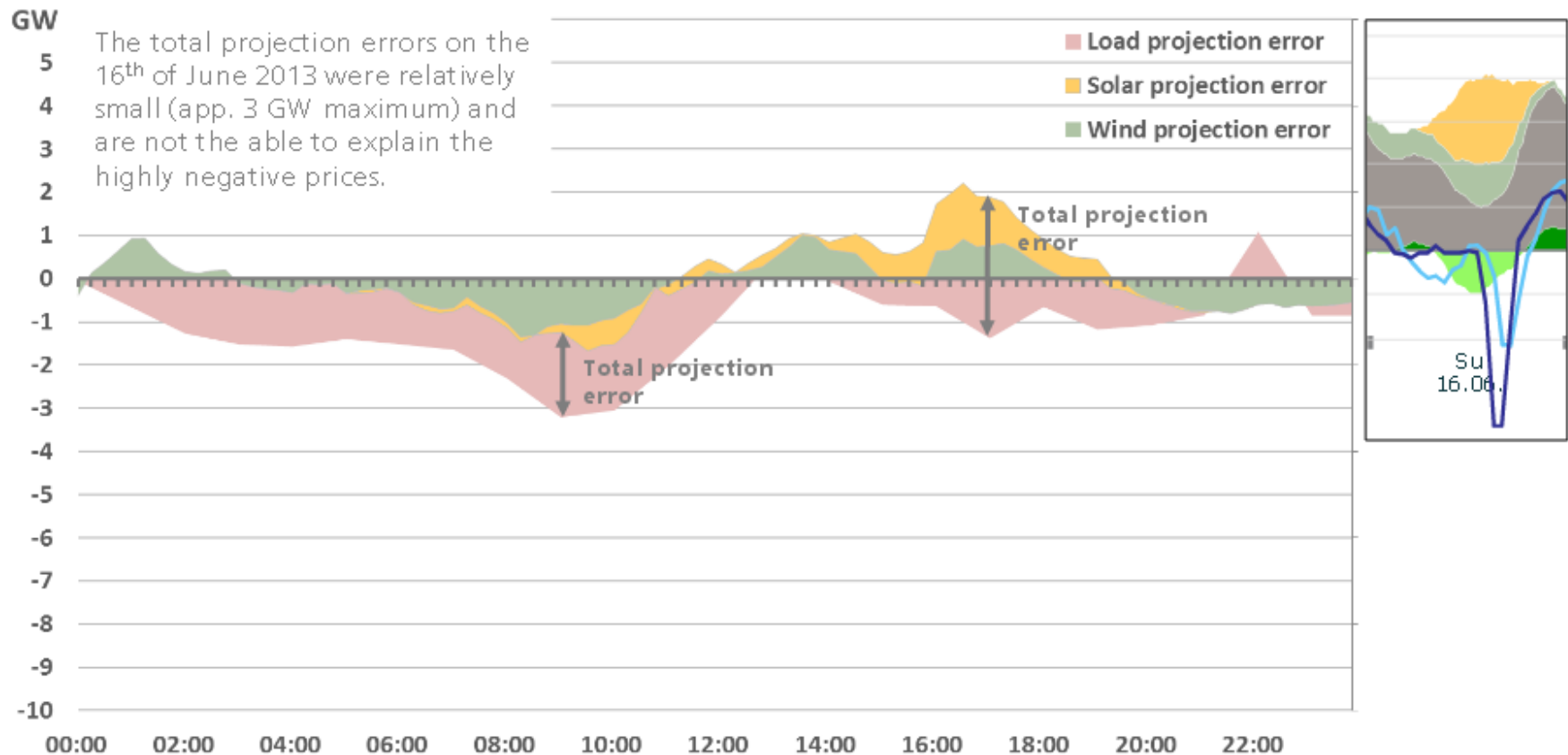
Quelle: Fraunhofer ISE, 2013

LONG term problem: Generation exceeds demand

Analysis of the Negative Spot-Prices on 16.06.2013



Actual production/load minus projected production/load (from day before)



[3], p. 62

BEE Plattform Systemintegration: Wachsende Ausgleichsoptionen im Wärme u. Verkehrssektor

Bedarfsdeckung?

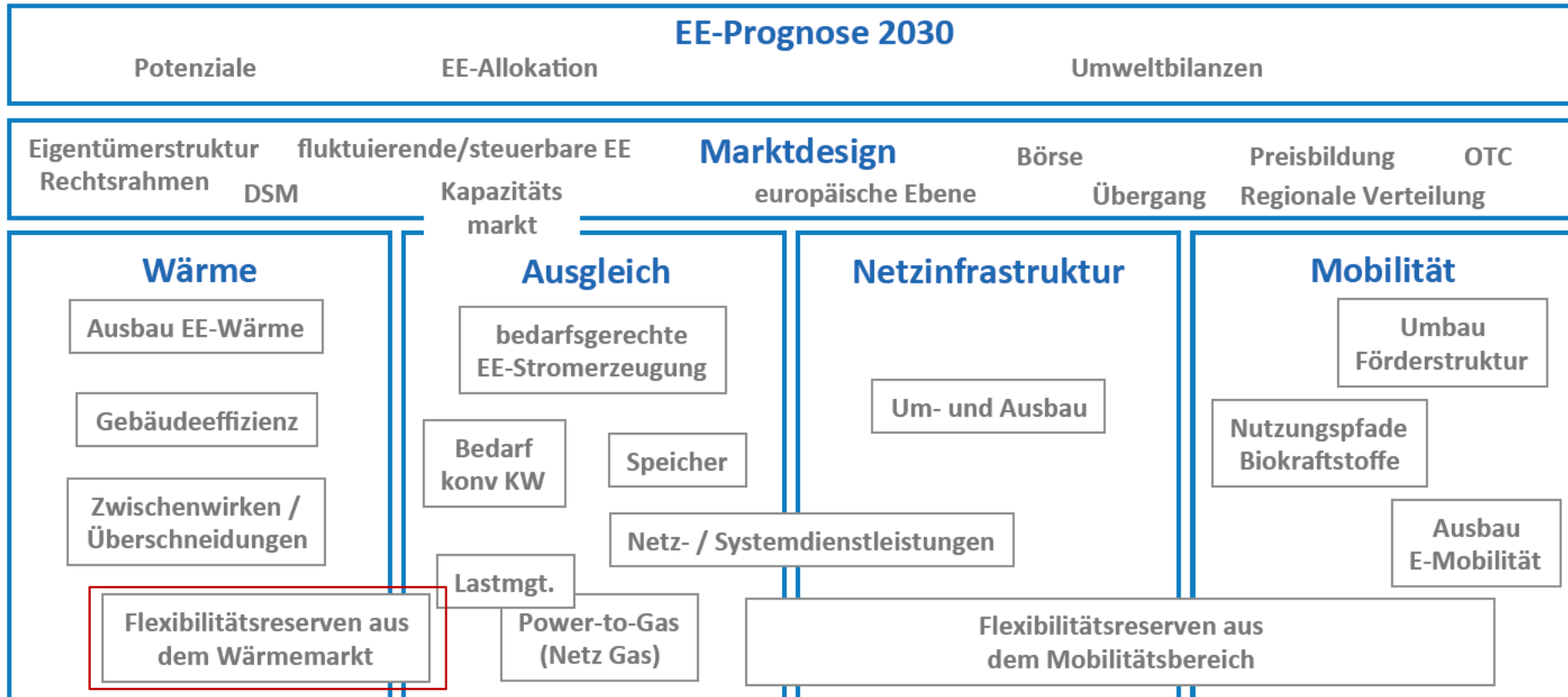
Netzstabilität?

Kosten?

Regionalität?

Interdependenzen?

Akzeptanz?



Legende: grün = Querschnittsfragen, blau = modulare Fragenkomplexe, grau = Teilmodule bzw. Denkanstösse