



Technische  
Universität  
Braunschweig

**elentia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen



# **INTEGRATION DEZENTRALER ENERGIEUMWANDLUNG IM AKTIVEN VERTEILNETZ ÜBER DEN ANSATZ EINER NETZORIENTIERTEN BETRIEBSWEISE**

**Dipl.- Wirtsch. Ing. Phillip Gronstedt**  
Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

# Agenda

- Idee eines aktiven Verteilnetzes
- Berücksichtigung fluktuierender Energiebereitstellung
- Implementierung eines Virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW
- Flexibilisierung der Verbraucherseite auf Haushaltsebene
- Integration elektrischer Speichersysteme
- Ergebnisse und weiteres Vorgehen



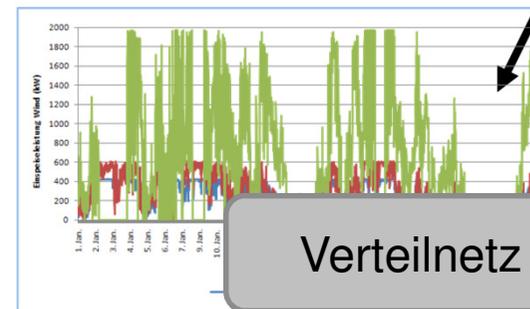
# Motivation

Der Anstieg Erneuerbarer Energiebereitstellung resultiert in **Herausforderungen** für das gesamte **Stromnetz**.

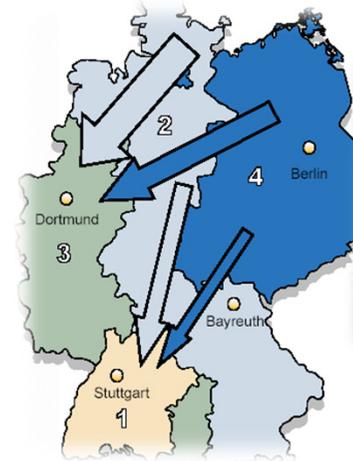
Nicht alleinig Regionen mit schwacher Infrastruktur und hohem Anteil Erneuerbarer, sondern auch eine Vielzahl der **Mittel- und Niederspannungsnetze** erfordern einen aktiven Eingriff in die Netztopologie und **neue innovative Energiekonzepte**.



Erneuerbare



Verteilnetz



Regelleistung



Netzausbau

Quelle: DENA 2011

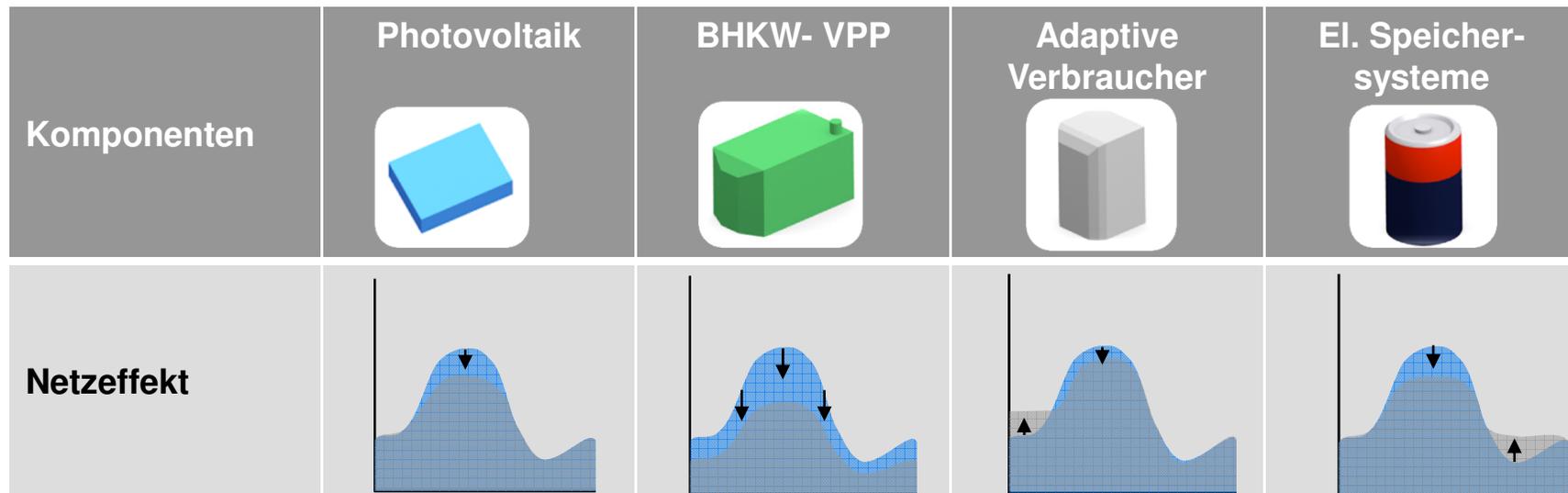


Technische  
Universität  
Braunschweig

# Idee eines aktiven Verteilnetzes

- Aufbau eines aktiven Verteilnetzes unter der Prämisse der weiteren Integration Erneuerbarer Energieumwandlung
- Umsetzung einer netzorientierten Betriebsweise unter Verwendung eines Bottom-Up Ansatzes

## Glättung des el. Lastgangs – Reduzierung der Spitzenlast



VPP- Virtual Power Plant

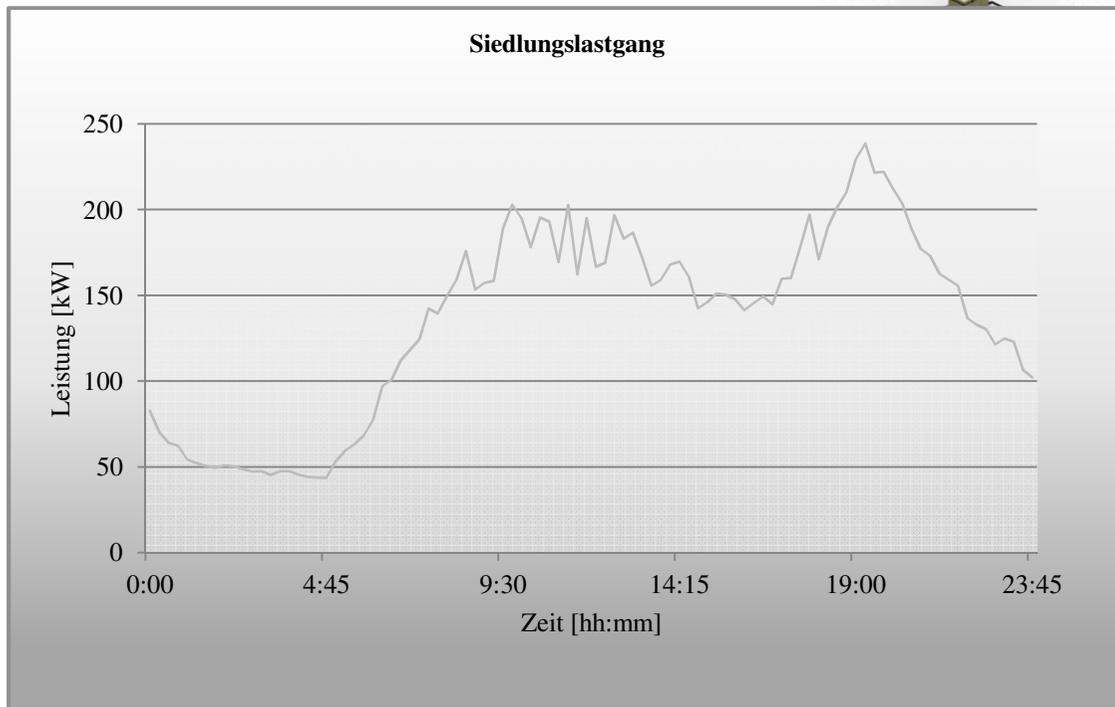


Technische  
Universität  
Braunschweig

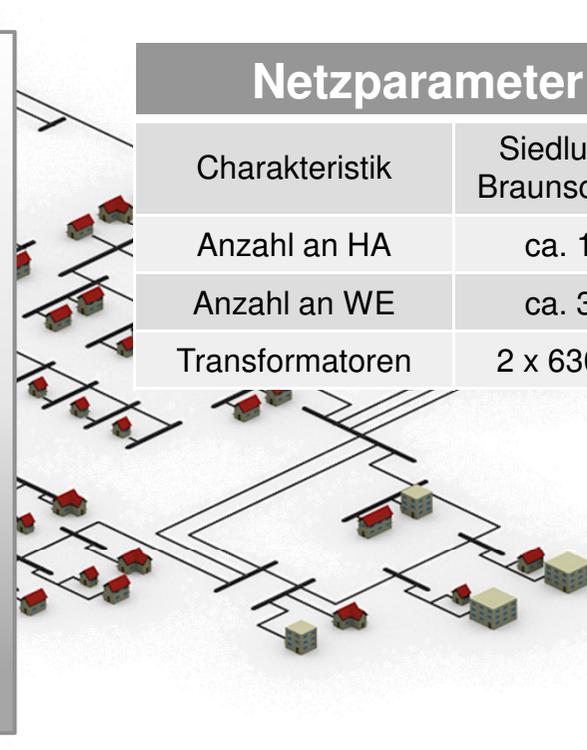
15. Feb 2012 | Ph. Gronstedt | Symposium Energieinnovation Graz | Folie 4

**elenia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen

# Ursprungssituation des betrachteten Städtetzes



Netzparameter	
Charakteristik	Siedlung in Braunschweig
Anzahl an HA	ca. 100
Anzahl an WE	ca. 300
Transformatoren	2 x 630kVA



## Legende:

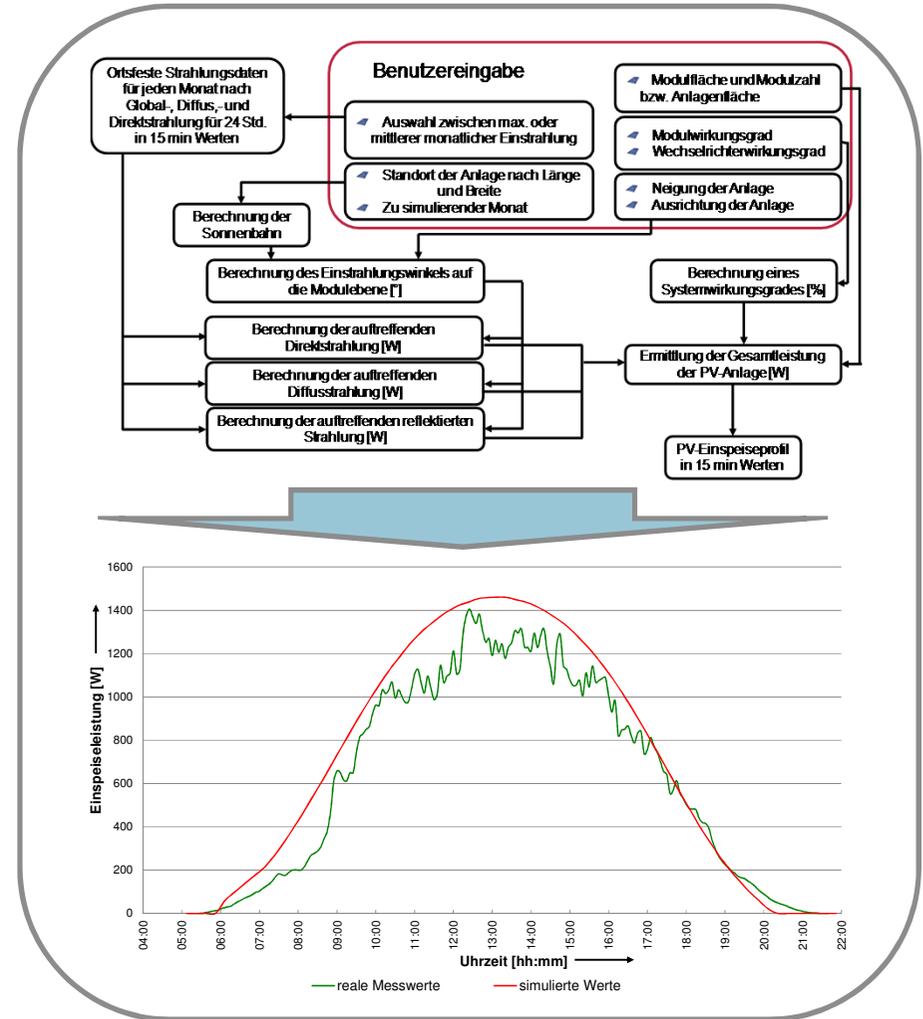
							HA	Hausanschlusspunkt
1 WE	2 WE	4 WE	6 WE	8 WE	10 WE	12 WE	WE	Wohneinheit

# Agenda

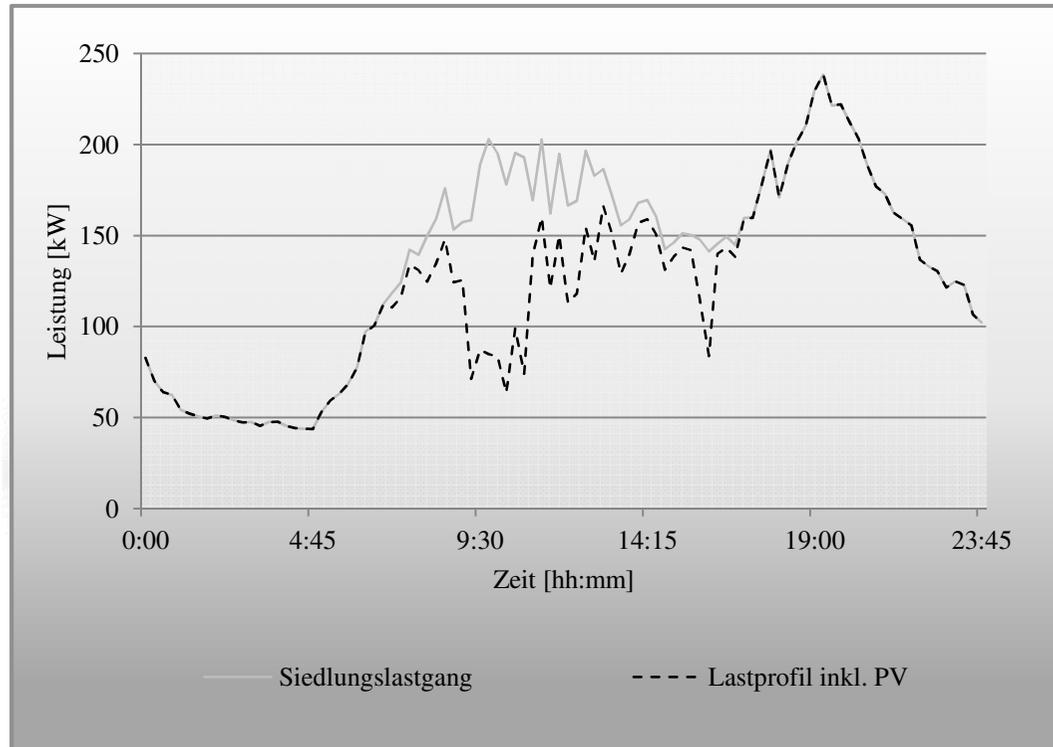
- Idee eines aktiven Verteilnetzes
- Berücksichtigung fluktuierender Energiebereitstellung
- Implementierung eines Virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW
- Flexibilisierung der Verbraucherseite auf Haushaltsebene
- Integration elektrischer Speichersysteme
- Ergebnisse und weiteres Vorgehen

# Berücksichtigung fluktuierender Energiebereitstellung

- Implementierung eines flexiblen Lastprofilgenerators in MATLAB /Simulink
- Berücksichtigung anlagen-spezifischer und ortsfester Parameter
- Input: Wettermessdaten
  - Meteomedia, Region Braunschweig, Jahr 2008-10
- Output: PV-Einspeiseprofil in 15min Auflösung
  - ohne
  - mit Prognose
  - unvollständiger



# Berücksichtigung fluktuierender Energiebereitstellung



## PV- Einspeisung

El, Leistung

Ø 7kW<sub>el</sub>

Durchdringung

30% der HA



Technische  
Universität  
Braunschweig

15. Feb 2012 | Ph. Gronstedt | Symposium Energieinnovation Graz | Folie 8

**elenia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen

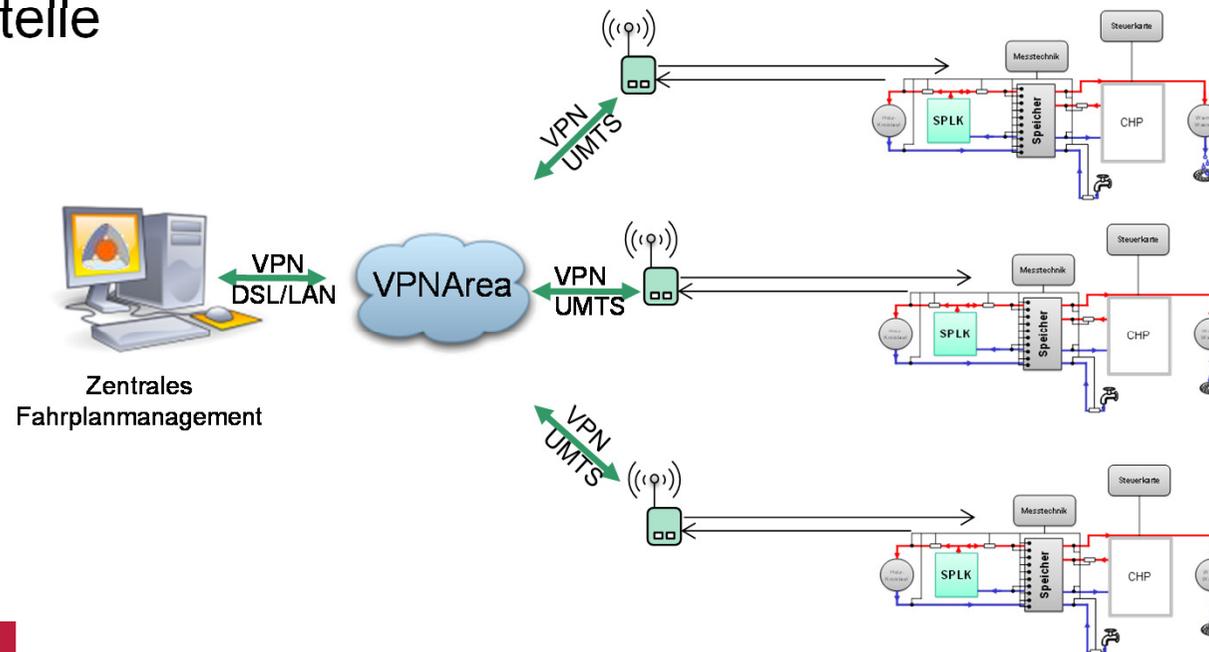
# Agenda

- Idee eines aktiven Verteilnetzes
- Berücksichtigung fluktuierender Energiebereitstellung
- Implementierung eines Virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW
- Flexibilisierung der Verbraucherseite auf Haushaltsebene
- Integration elektrischer Speichersysteme
- Ergebnisse und weiteres Vorgehen



# Implementierung eines Virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW

- Basis: Mini-BHKW Einheit kombiniert mit thermischem Pufferspeicher und Spitzenlastkessel
- Zentrales Element des virtuellen Kraftwerks ist ein Fahrplanmanagement mit Kommunikation via IEC 61850 konformer Schnittstelle

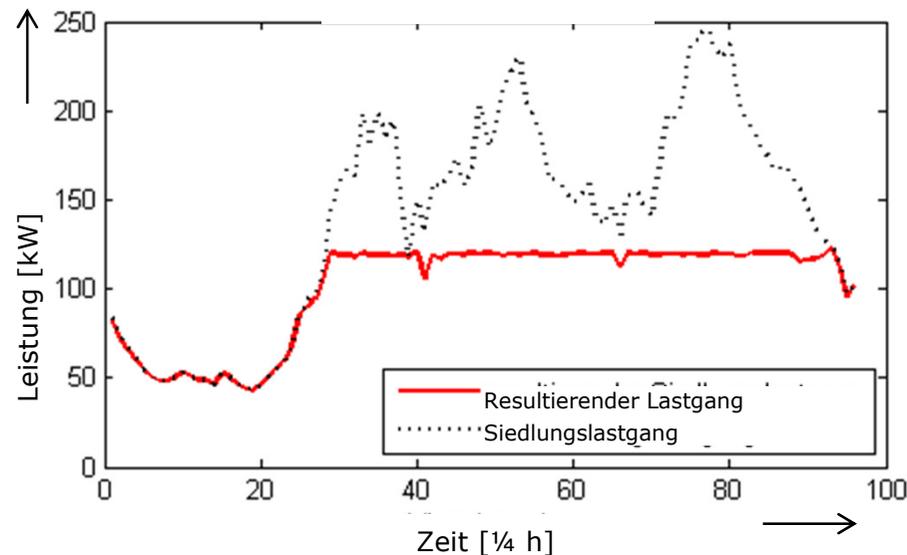


# Implementierung eines Virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW

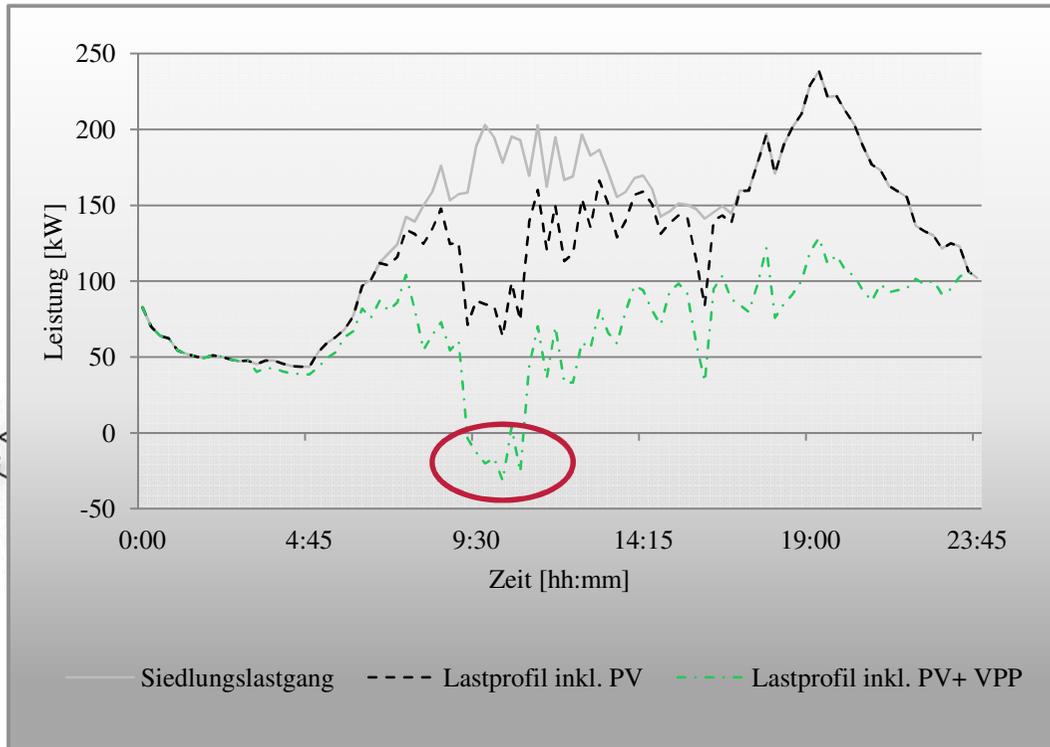
## Netzorientierter Verbundbetrieb

- Ziel: Glättung der Spitzenlasten im Netz durch intelligente Anlagensteuerung
- Effekt der Lastgangglättung umso größer, je höher der Durchdringungsgrad von steuerbaren Mini-BHKW ist

30  
Mikro-BHKW  
Einheiten

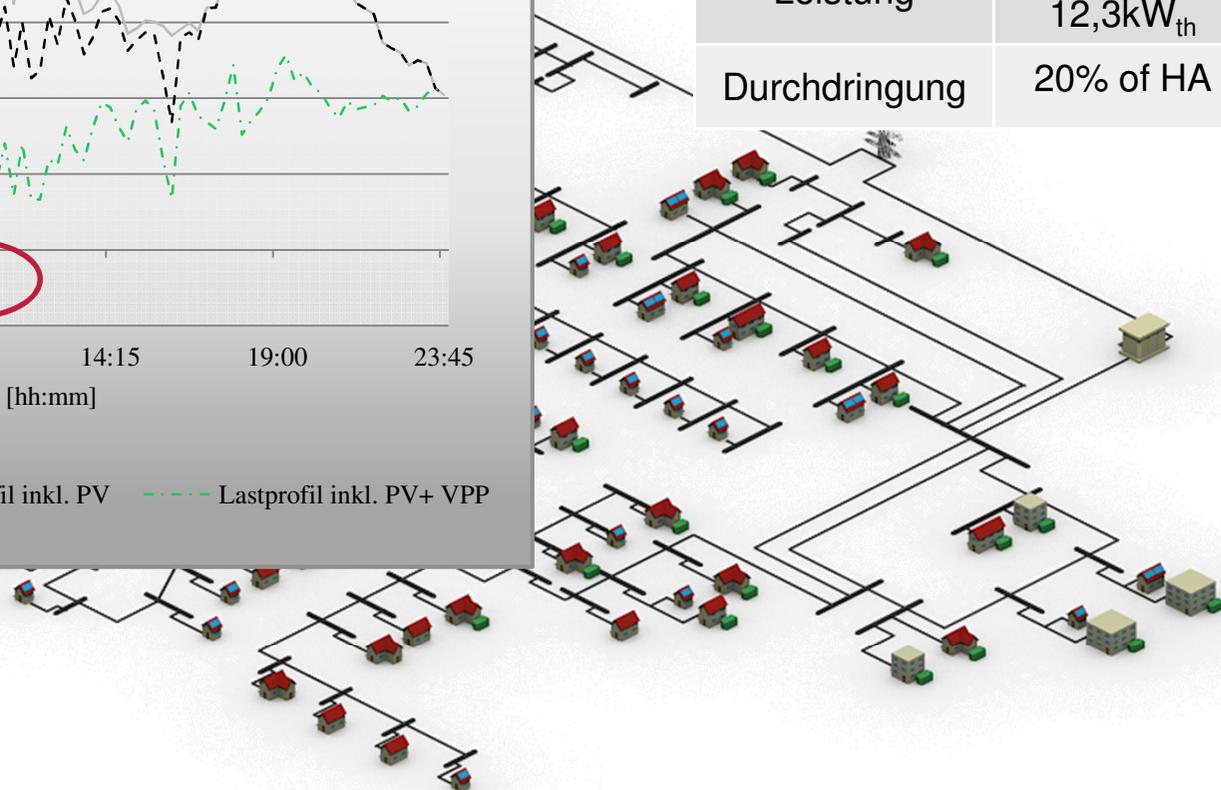


# Implementierung eines Virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW



## Mini BHKW Einheiten

Leistung	5kW <sub>el</sub> / 12,3kW <sub>th</sub>
Durchdringung	20% of HA



# Agenda

- Idee eines aktiven Verteilnetzes
- Berücksichtigung fluktuierender Energiebereitstellung
- Implementierung eines Virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW
- Flexibilisierung der Verbraucherseite auf Haushaltsebene
- Integration elektrischer Speichersysteme
- Ergebnisse und weiteres Vorgehen



# Flexibilisierung der Verbraucherseite auf Haushaltsebene

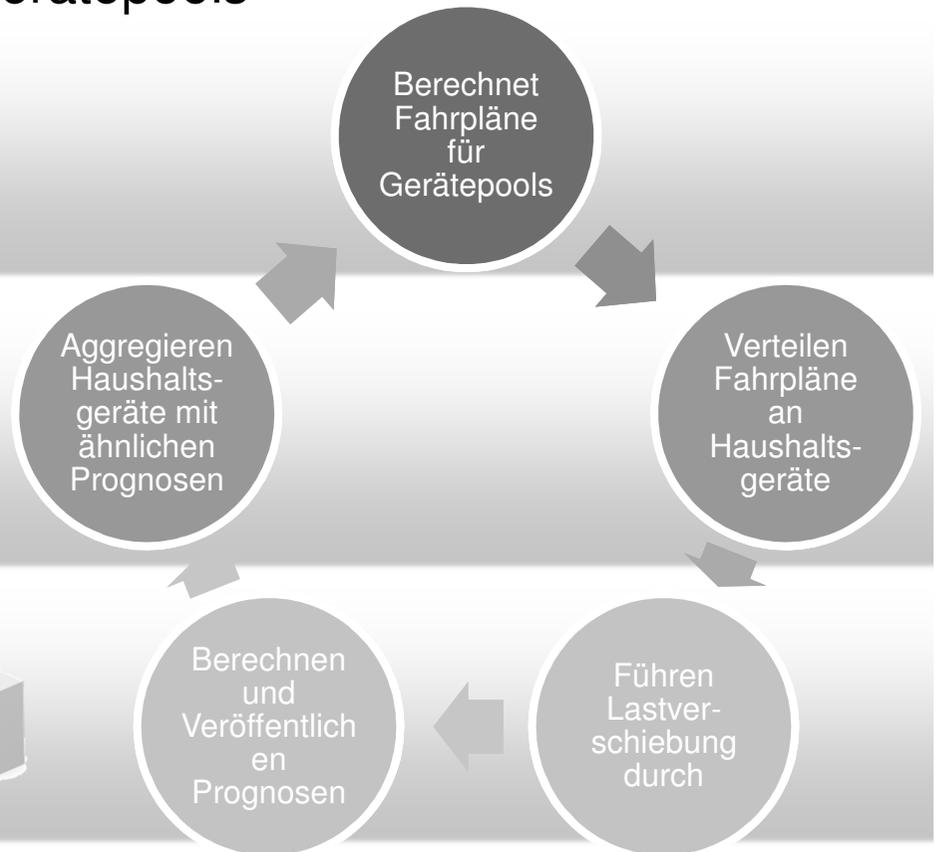
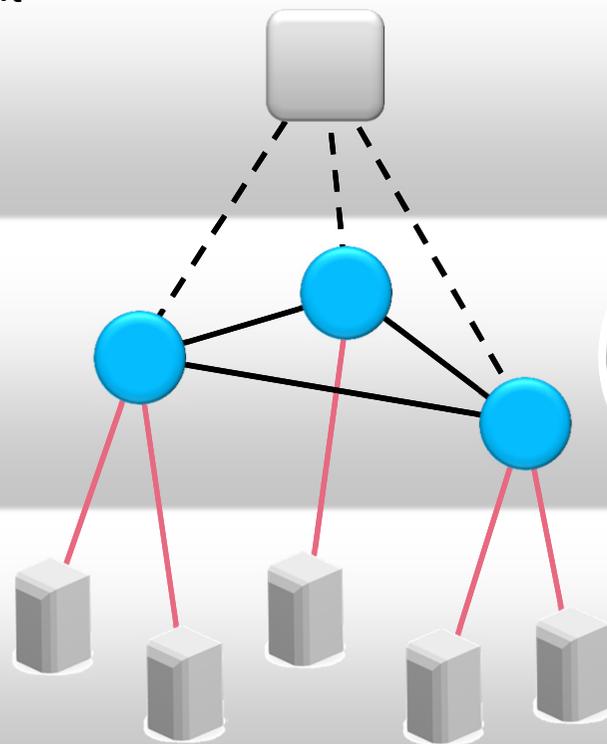
## *Dynamisches Pooling und Steuerung*

- Hierarchisches Multiagenten System
- Dynamische Adaption der Gerätepools

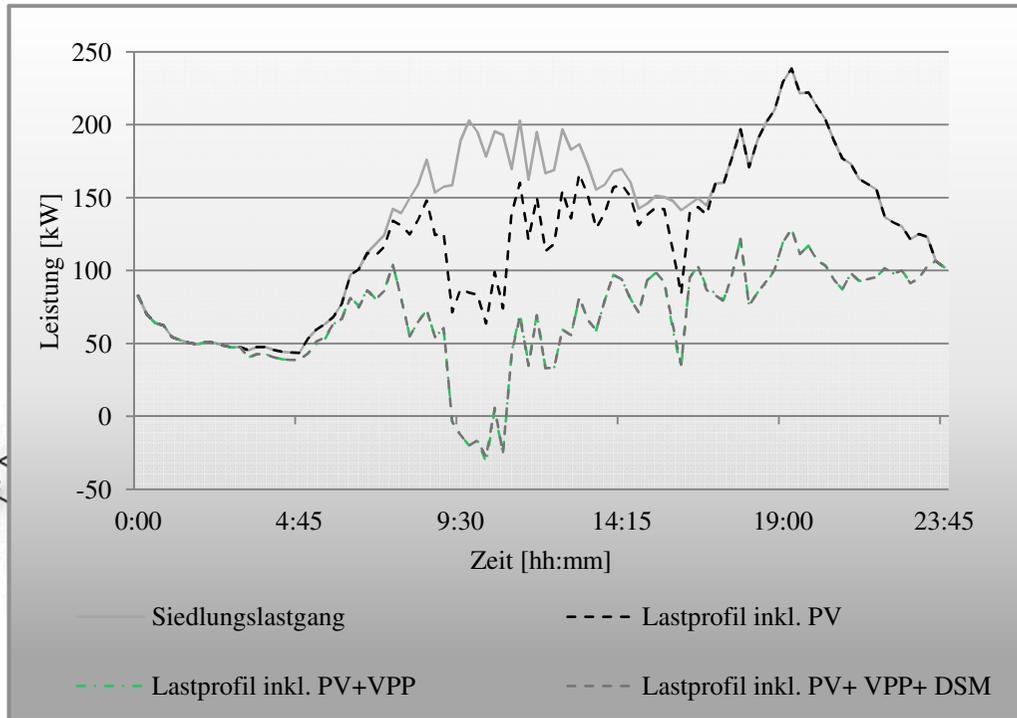
Steuerungseinheit

Virtuelle Geräte

Gerätecontroller



# Flexibilisierung der Verbraucherseite auf Haushaltsebene



## Demand-Side - Management

El. Leistung

Ø 140 W

Kühlschrank

106 % of HA\*

Gefrierschrank

52 % of HA\*



Source: Smart A



Technische  
Universität  
Braunschweig

15. Feb 2012 | Ph. Gronstedt | Symposium Energieinnovation Graz | Folie 15

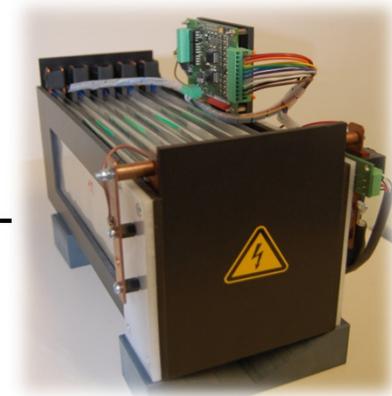
**elenia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen

# Agenda

- Idee eines aktiven Verteilnetzes
- Berücksichtigung fluktuierender Energiebereitstellung
- Implementierung eines Virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW
- Flexibilisierung der Verbraucherseite auf Haushaltsebene
- Integration elektrischer Speichersysteme
- Ergebnisse und weiteres Vorgehen

# Integration elektrischer Speichersysteme

- Untersuchung von Einsatz- und Bewirtschaftungskonzepten in Bezug auf die Bereitstellung von **Netzaufgaben**
- Betrachtet werden **elektro-chemische Speichersysteme** für den mobilen und stationären Betrieb als **Integratoren** im aktiven Verteilnetz mit 5 kW Leistung und 10kWh Energieinhalt und sind mit einem Durchdringungsgrad von 25 % in das betrachteten Netz eingebracht.
- Im Zuge der Untersuchungen zur netzorientierten Betriebsweise werden Speichersysteme hinsichtlich ihrer Positionierung analysiert



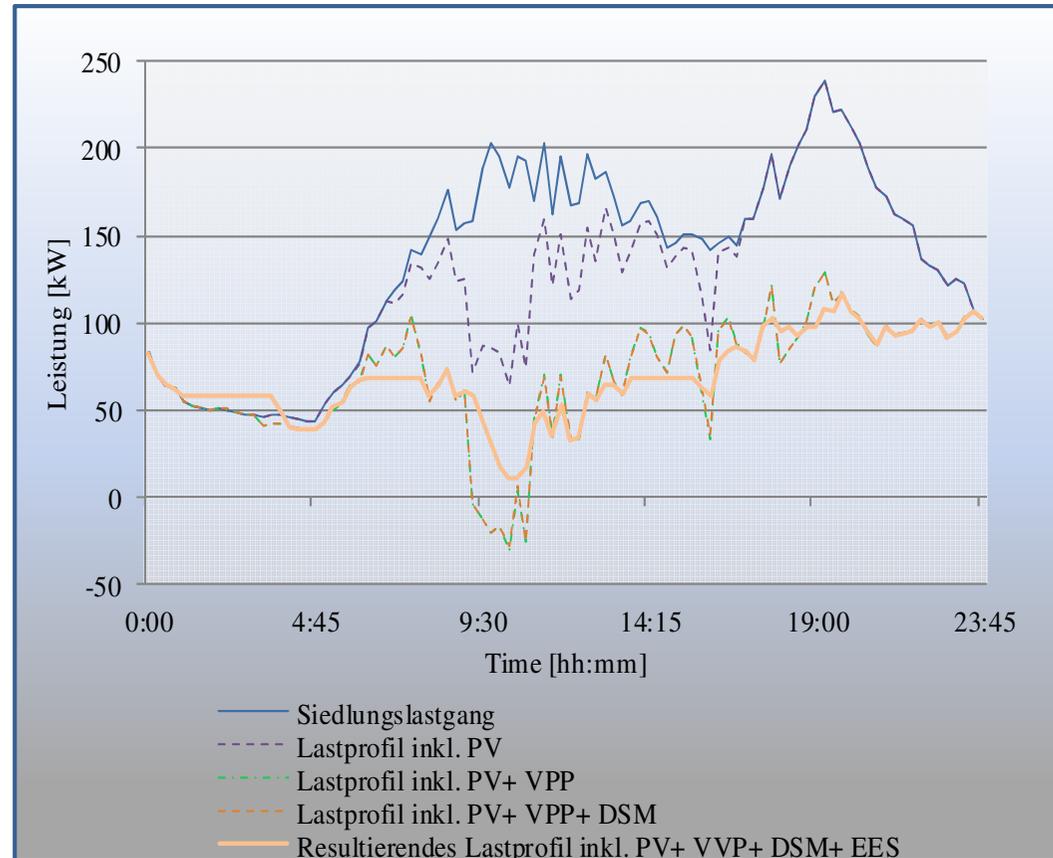
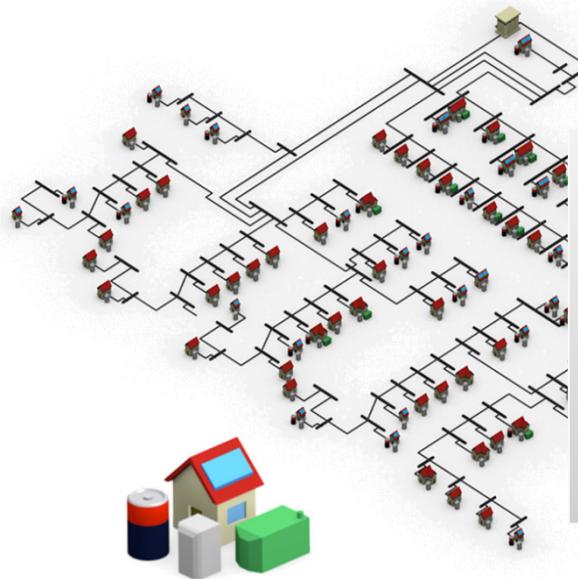
**Lastfern positionierte EES**

**Lastnah positionierte EES**



EES= Elektrische Energie Speicher

# Resultierendes Lastprofil des aktiven Verteilnetzes

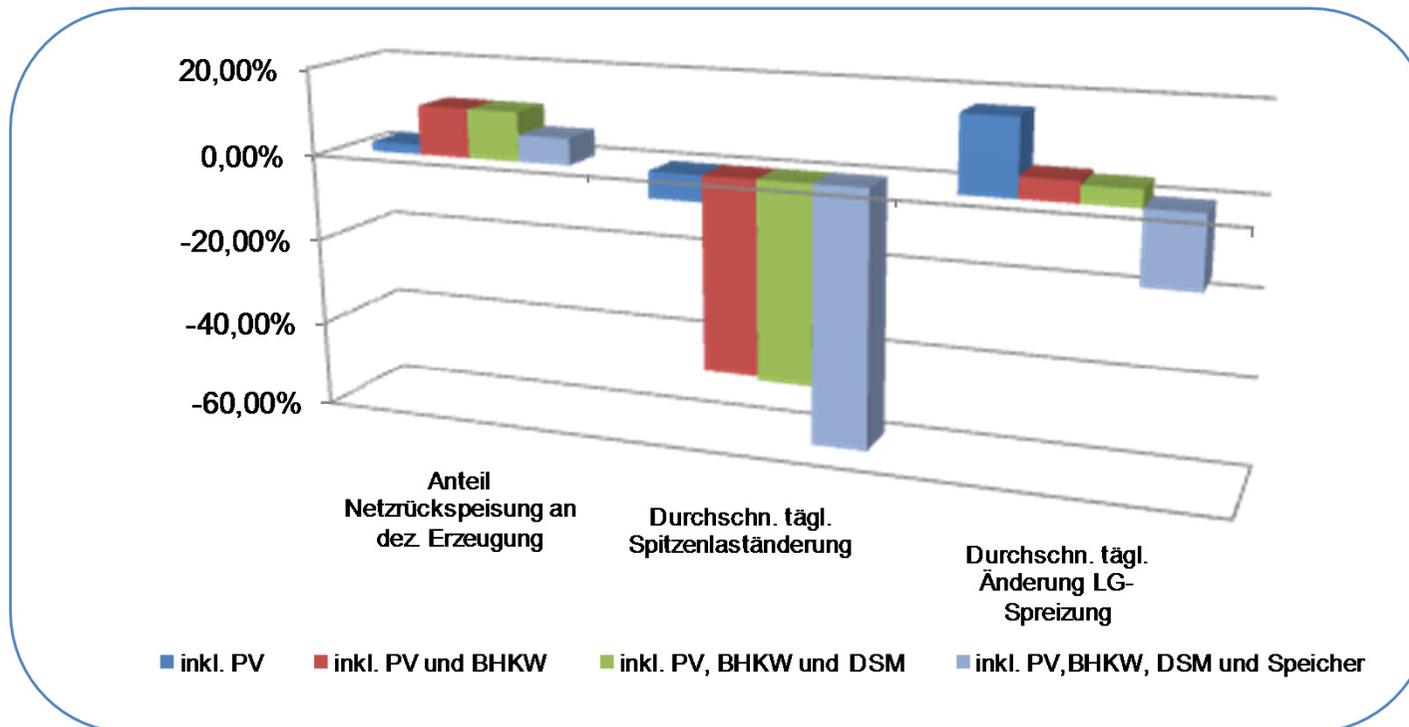


# Agenda

- Idee eines aktiven Verteilnetzes
- Berücksichtigung fluktuierender Energiebereitstellung
- Implementierung eines Virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW
- Flexibilisierung der Verbraucherseite auf Haushaltsebene
- Integration elektrischer Speichersysteme
- Ergebnisse und weiteres Vorgehen



# Simulationsergebnisse für das aktive Verteilnetz



- Eine **aktive Einbindung dezentraler Einspeisung** kombiniert mit der Verwendung von (vorhandenem) **Speicherpotential** verbessert maßgeblich die weitere **Integration Erneuerbarer Energieumwandlung**
- Dezentrale Energieerzeugung kann zur Senkung der Verteilnetzverluste beitragen

# Ergebnisse aus dem Feldtest

Feldtest  
Braunschweig Nov. 2010



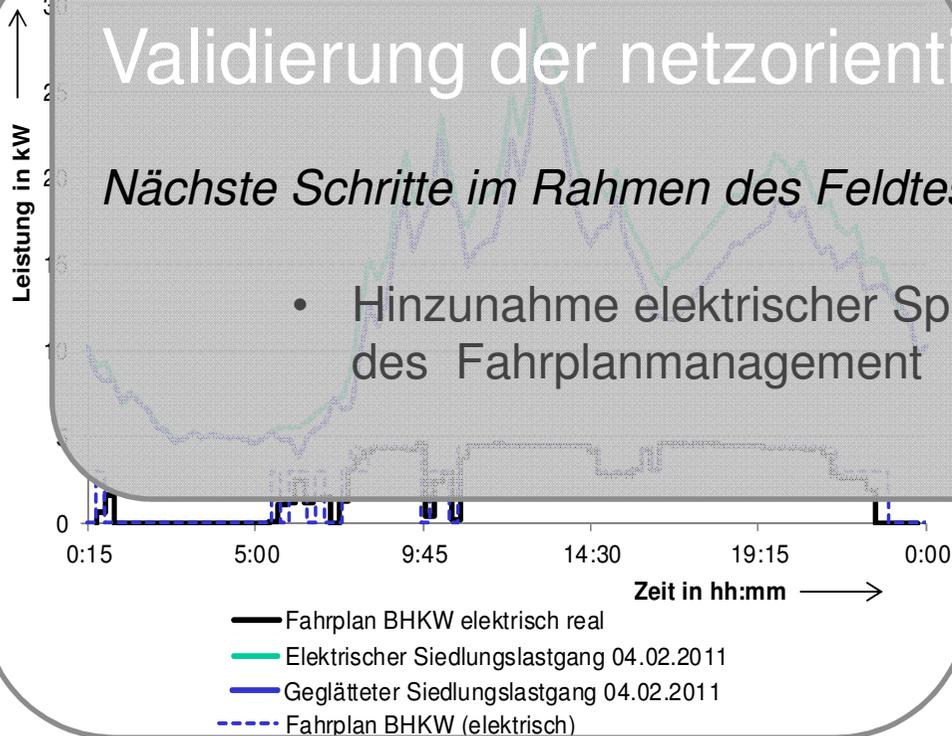
Thermischer Pufferspeicher

## Validierung der netzorientierten Betriebsweise



*Nächste Schritte im Rahmen des Feldtest:*

- Hinzunahme elektrischer Speicherleistung zur Verbesserung des Fahrplanmanagement



Spitzenlastkessel

Trotz geringer Prognosegüte der Lastseite...

....sind nur geringfügige Fahrplanabweichungen zu verzeichnen.

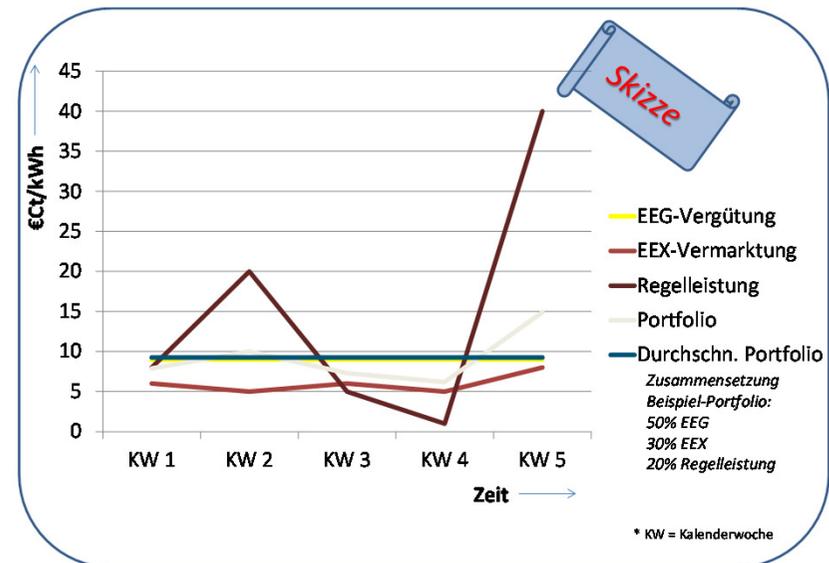


## Weiteres Vorgehen: Einbindung der Erlösseite

Übertragung des Portfolio Gedankens aus der Finanzwirtschaft mit der **zeitgleichen Nutzung einer Vielzahl von Absatzwegen** auf die Energiewirtschaft:

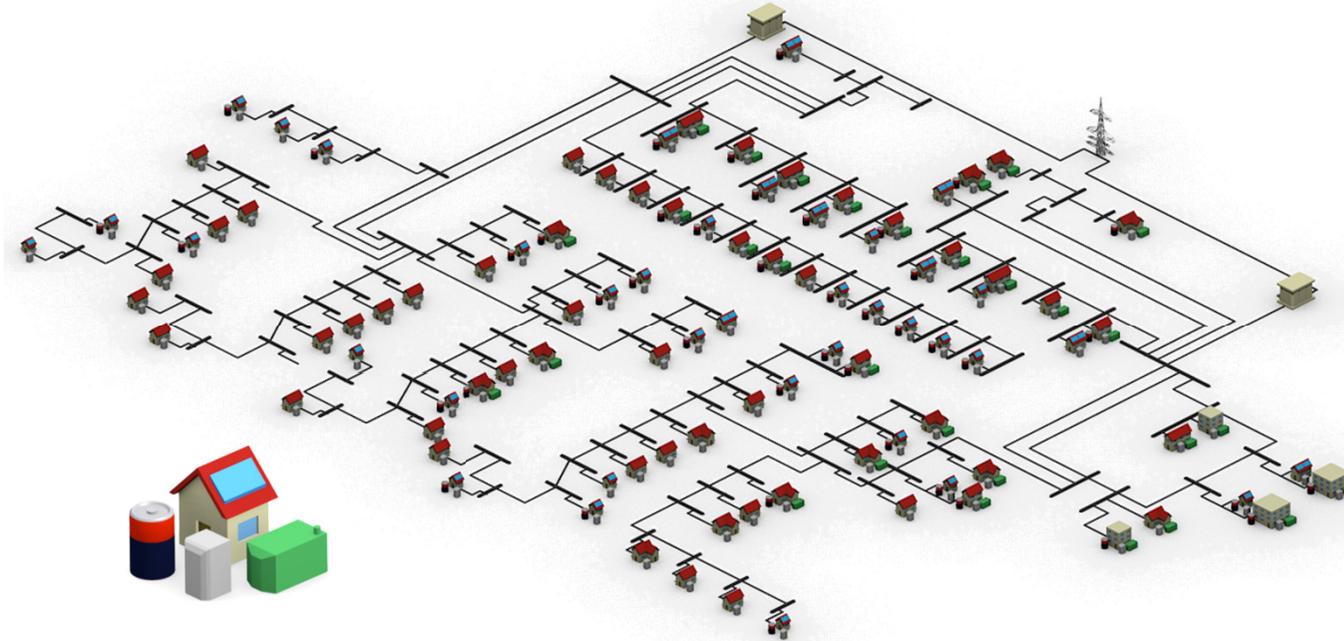
Notwendige Meilensteine:

- Vorhersage der komplexen Marktseite über bspw. Value-at-Risk Methoden
- Prognosefunktion für die Energiebereitstellung
- Monetäre Bewertung von Systemdienstleistungen



Mit der Mehrfachvermarktung wird der bisherige Ansatz der netzorientierten Betriebsweise konsequent weitergeführt, um langfristig auch aus **marktwirtschaftlichen** Aspekten den weiteren **Ausbau Erneuerbarer Energieumwandlung zu rechtfertigen.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Phillip Gronstedt**  
Leiter Arbeitsgruppe Energiesysteme

Technische Universität Braunschweig  
Institu für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen– **elenia**  
Schleinitzstraße 23 | 38106 Braunschweig | Germany

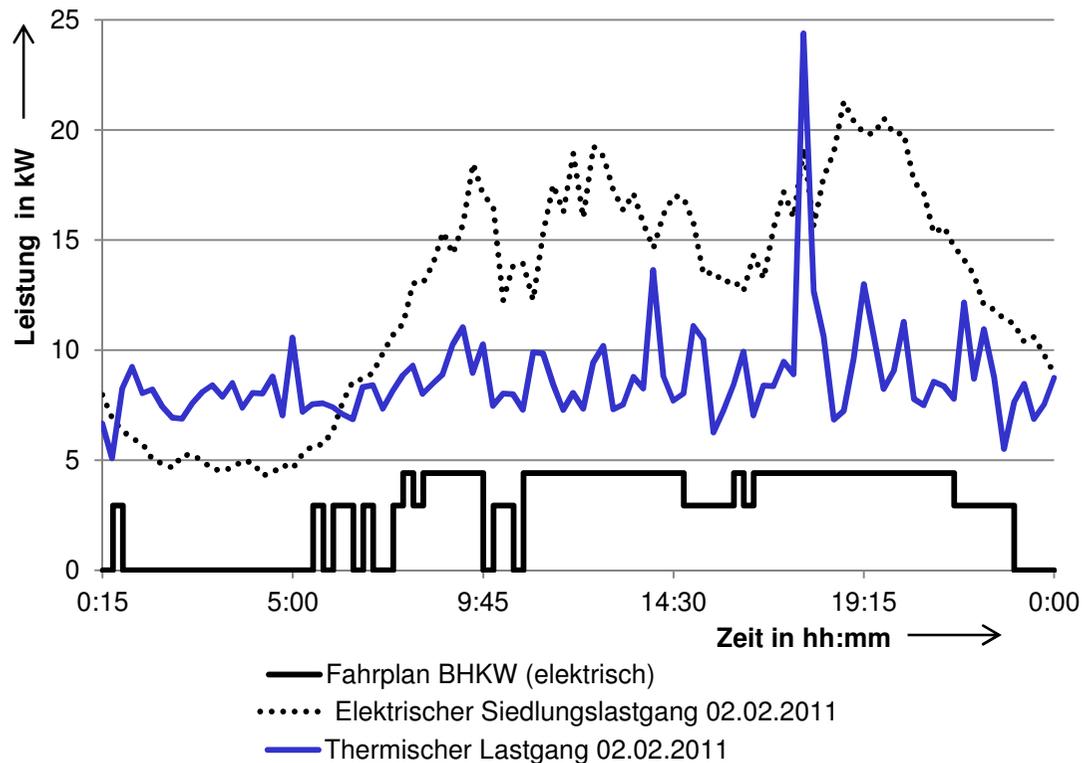
Email: [p.gronstedt@tu-braunschweig.de](mailto:p.gronstedt@tu-braunschweig.de)

# BackUp



# Feldtest - Fahrplanerzeugung

- Betriebszeiten des BHKW werden ausgerichtet an FEN-Bz (02.02.2011)
- Systemische Siedlungslastgangwasser (02.02.2011)
  - ... der thermischen Lastprognose des Gebäudes (Primärziel)
- Gemittelte Werte über einen Zeitraum von 15 Minuten
  - ... den Spitzen des prognostizierten Siedlungslastganges (Sekundärziel)
- Lastverlauf als **Prognose** für den übernächsten Tag (04.02.2011)

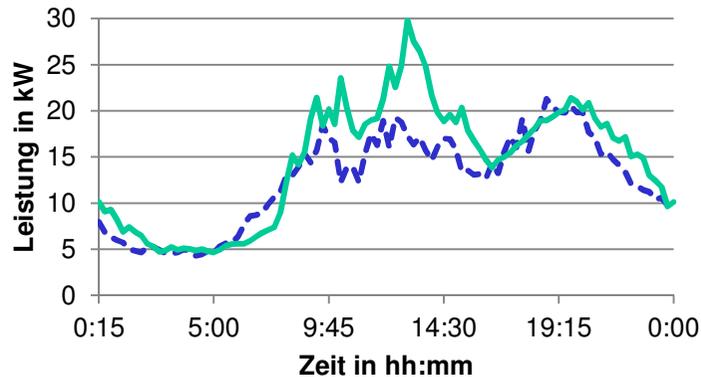


# Feldtest - Auswertung:

Abweichung des realen Siedlungslastgang von der Prognose

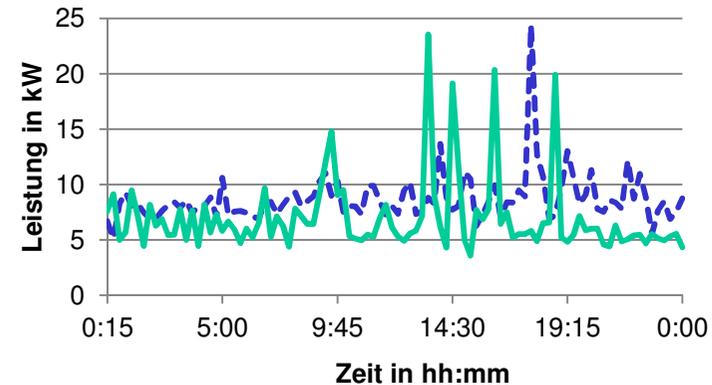
Abweichung des realen thermischen Lastgangs des Gebäudes von der Prognose

### Siedlungslastgang



--- Elektrischer Siedlungslastgang 02.02.2011  
— Elektrischer Siedlungslastgang 04.02.2011

### Thermischer Lastgang

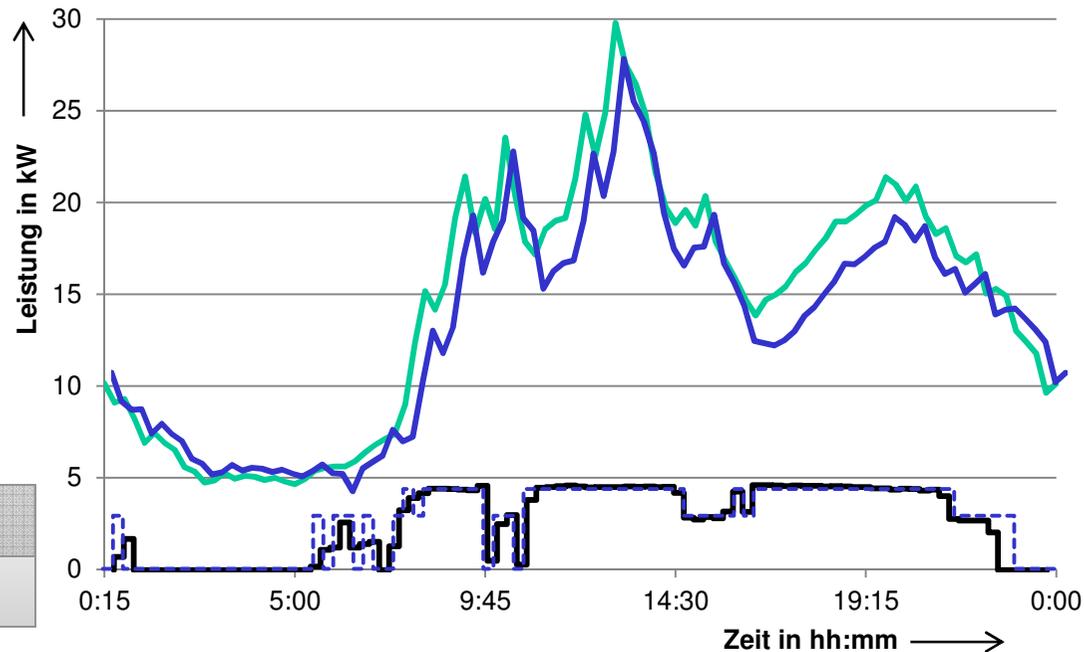


--- Thermischer Lastgang 02.02.2011  
— Thermischer Lastgang 04.02.2011

- Prognoseart der 2-Tages Lastfortschreibung ist insbesondere für den thermischen Lastverlauf nicht sehr genau

# Feldtest - Änderung des Siedungslastganges

- Lastspitzen lassen sich im Versorgungsnetz gezielt glätten
- Aufgrund ungenauer Prognosen kann es zu Fahrplanabweichungen Erkennbarer Effekt selbst bei nur einem BHKW der BHKW kommen
- Ungenaue Lastprognosen werden durch den Pufferspeicher ausgeregelt
- Jedoch: Trotz der Ungenauigkeiten kann der Fahrplan nahezu eingehalten werden. Ursache dafür ist der thermische Pufferspeicher



$\Delta P_d$	-11,22%
$\Delta S_d$	-8,47%

$\Delta P_d$ : Änderung Spitzenlast

$\Delta S_d$ : Änderung Lastgangspreizung

— Fahrplan BHKW elektrisch real

— Elektrischer Siedungslastgang 04.02.2011

— Geglätteter Siedungslastgang 04.02.2011

- - - Fahrplan BHKW (elektrisch)



Technische  
Universität  
Braunschweig

# Auswirkungen dezentraler Energieerzeugung auf das Verteilnetz

Mögliche Auswirkungen einer hohen Anzahl DEA auf die Verteilnetze:

## Versagen des Netzschutzes

### 1. Stationärer Betrieb

- Überlastungen einzelner Kabelabschnitte werden nicht detektiert
  - Lösungsansätze:
    - Zus. Überlastschutzeinrichtungen: + höhere Selektivität  
- Installationsaufwand
    - Digitaler Schutz mit Kommunikation: + Installationsaufwand  
- Datenbasis

### 2. Fehlerfall

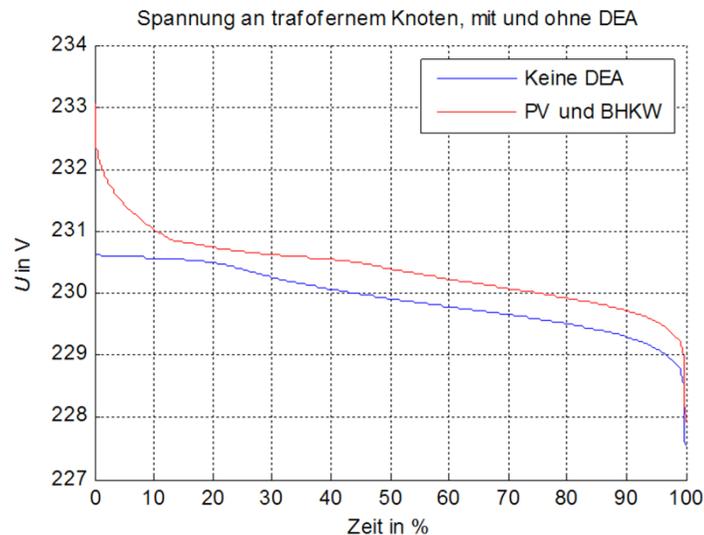
- Überschreitung der maximal zulässigen Kurzschlussströme durch Beiträge der DEA möglich
  - Schäden an Betriebsmitteln
- Geringere Fehlerströme an den vorhandenen Netzschutzeinrichtungen
  - Fehler werden nicht oder verspätet abgeschaltet
- Lösungsansatz: intelligente Schutztechnik, Smart-Meter in Ortsnetzstationen und an den DEA



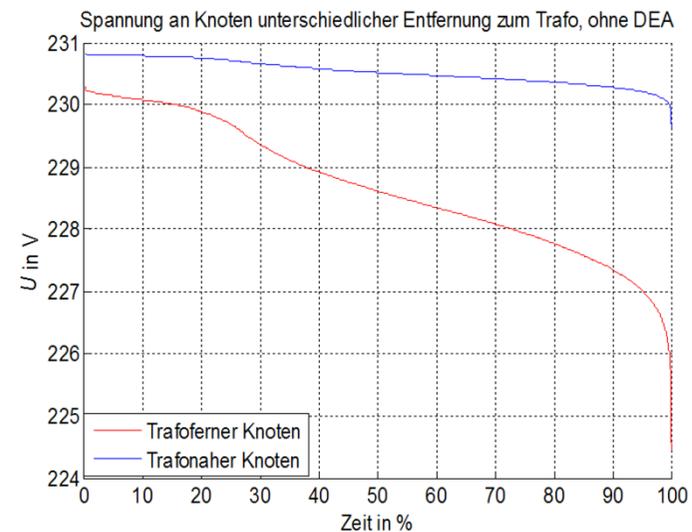
# Auswirkungen dezentraler Energieerzeugung auf das Verteilnetz

Mögliche Auswirkungen einer hohen Anzahl DEA auf die Verteilnetze:

- Spannungsbandverletzungen
  - Zulässiges Spannungsband:  $U_{LE}=230 \text{ V} \pm 10 \%$  (207 V bis 253 V)
  - Im NS-Netz Reduzierung des Spannungsbandes durch vorgelagertes MS-Netz
  - → typisches Spannungsband in NS-Netzen:  $U_{LE}=230 \text{ V} \pm 5 \%$



Spannungsverlauf an transformatorfermem  
Netzknuten mit und ohne DEA



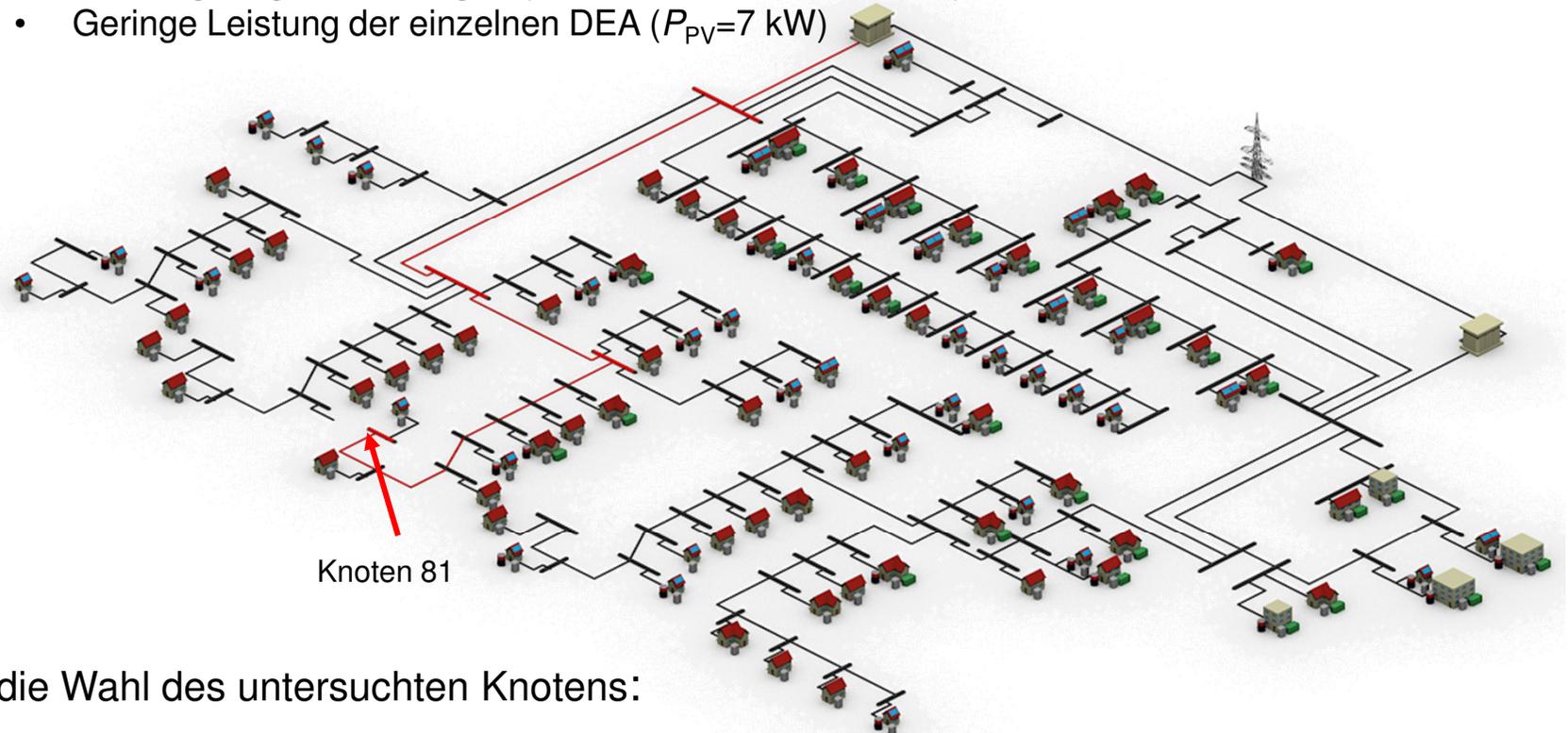
Spannungsverlauf in Abhängigkeit der Entfernung  
vom Transformator bei reinem Lastbetrieb



# Auswirkungen auf das städtische Netz

## Netzkenndaten:

- Gut ausgebautes Netz
- Relativ geringe Kabellängen (Trafo bis Knoten 81: 343 m)
- Geringe Leistung der einzelnen DEA ( $P_{PV}=7$  kW)



## Kriterien für die Wahl des untersuchten Knotens:

- Relativ hohe Entfernung zum Transformator
- Angeschlossene Erzeugungsanlagen



# Auswirkungen auf das städtische Netz

## Spannungsverläufe an Knoten 81

- Vergleich der unterschiedlichen Szenarien an einem Netzknoten
- Erzeugungsanlagen verursachen Spannungserhöhungen
- Unkritisch: Spannungsbänder werden eingehalten

