

# Einfluss neuer Technologien auf den Leistungsbezug von Haushalten aus dem Netz

13. Symposium Energieinnovation, Graz, 12. – 14. Februar 2014  
Marian Hayn

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)  
Lehrstuhl für Energiewirtschaft



## Agenda

- **Motivation und Forschungsfragen**
- **Modellierung des Leistungsbezugs eines Einfamilienhaushalts**
- **Ausgewählte Modellergebnisse für definierte Anwendungsfälle**
- **Konzept zur Integration der Haushalte in Leistungsmarkt**
- **Zusammenfassung und Ausblick**

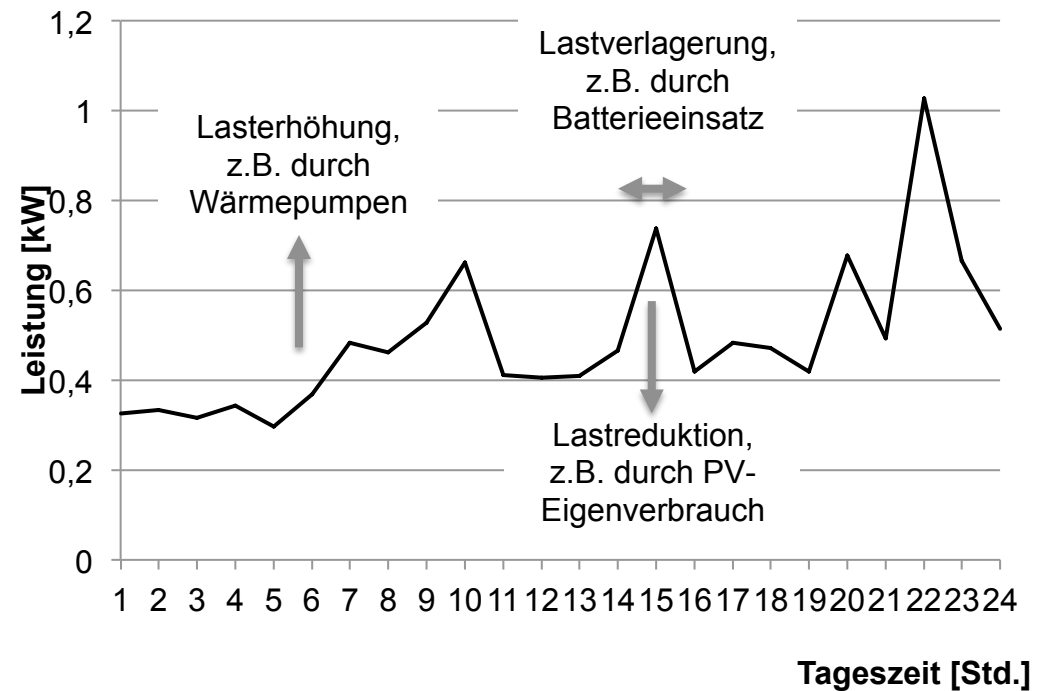
# Hat Wandel des Technologieeinsatzes Einfluss auf Lastprofile?

Motivation

## Neue Technologien im Haushaltssektor...

- **Photovoltaik (PV)** kann durch Eigenverbrauch zu Lastreduktion führen
- **Wärmepumpen** mit Wärmespeicher können zu Lasterhöhung führen
- **Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungs-anlagen (Mikro-KWK)** mit Wärmespeicher können zu Lastreduktion führen
- **Batteriespeicher** können zu Lastverlagerung führen

## ... können zu Veränderungen des Lastprofils führen



— Lastprofil eines EFH nach VDI 4655 [1]

Abb.: Schematische Darstellung der Auswirkung verschiedener Technologien auf den Leistungsbezug eines Einfamilienhaushalts (EFH) aus dem Netz

# Fünf Anwendungsfälle mit einem Referenzfall für Einfamilienhaushalt verglichen

## Referenzszenario und definierte Anwendungsfälle

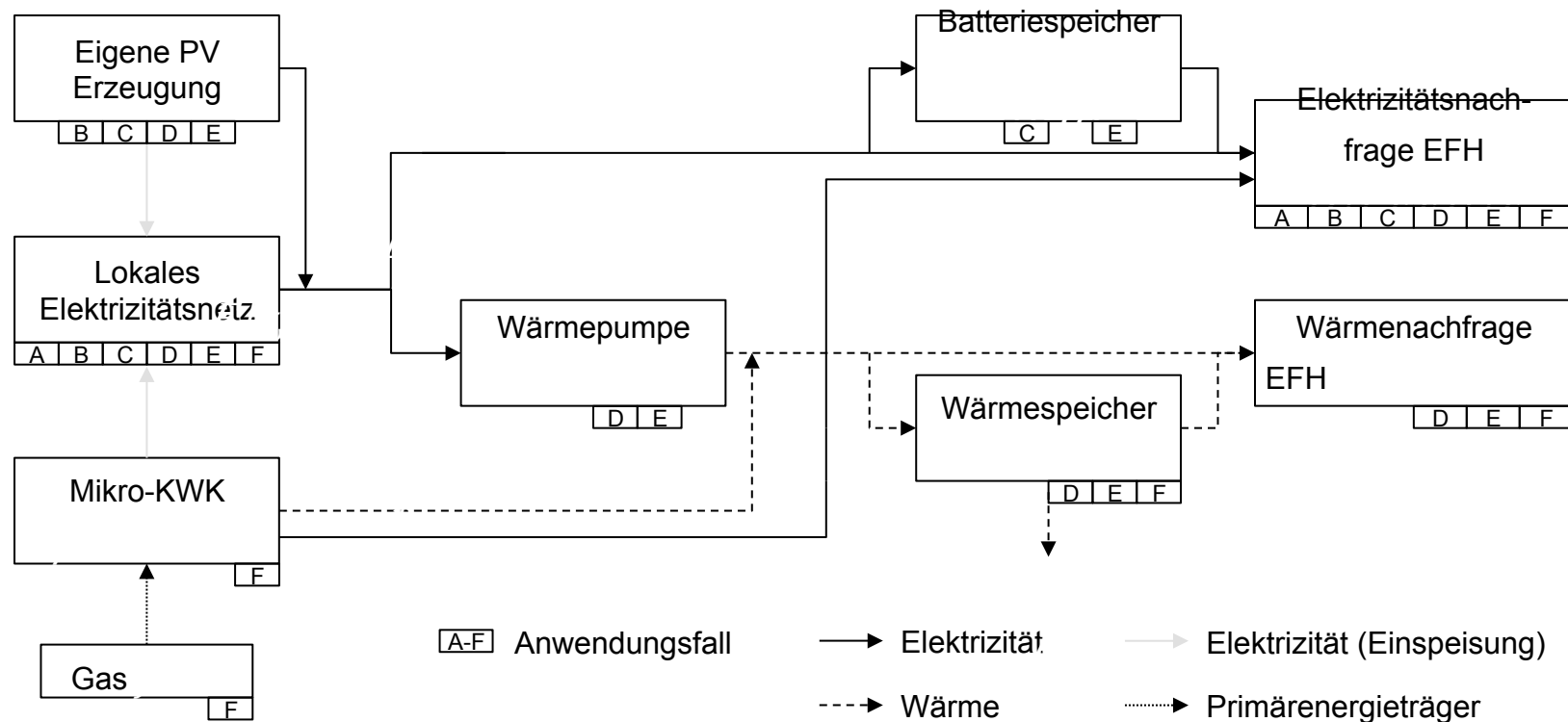
- **Referenzfall** ohne Einsatz neuer Technologien basierend auf VDI Richtlinie 4655 für einen Einfamilienhaushalt (EFH)
- EFH mit **PV Anlage**
- EFH mit **PV Anlage** und **Batteriespeicher**
- EFH mit **PV Anlage** und **Wärmepumpe** mit Wärmespeicher
- EFH mit **PV Anlage**, **Wärmepumpe** mit Wärmespeicher und **Batteriespeicher**
- EFH mit **Mikro-KWK-Anlage** mit Wärmespeicher

## Verschiedene modellgestützte Analysen des Beispielhaushalts

- Veränderung des **Lastprofils** aufgrund eingesetzter Technologien
- Veränderung verschiedener **leistungsbezogener Kennzahlen**
  - **Eigenverbrauch**: Prozentualer Anteil selbstgenutzter Elektrizität aus selbsterzeugter Elektrizität [2]
  - **Eigendeckung**: Prozentualer Anteil selbsterzeugter Elektrizität am gesamten Elektrizitätsbedarf [2]
  - **Netzbezug**: Jahressumme, maximaler und durchschnittlicher Bezug
  - **Einspeiseleistung**: Jahressumme, maximaler und durchschnittliche Einspeisung

# Modell zur Analyse des Leistungsbezugs aus dem Netz

Schematische Darstellung



**Minimierung der variablen Kosten**

$$\min_{\tau} \left( \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} (E_{\downarrow,t,i} * p_{\downarrow,t,i}) + \sum_{t \in T} (f_{\downarrow,t} * p_{\downarrow,t,Gas}) \right) \quad \text{unter Nebenbedingungen}$$

$E_{\downarrow,t,i}$  : Elektrizitätsbereitstellung der Ressource  $i$  zur Zeit  $t$  ;  $p_{\downarrow,t,i}$  : Preis der Ressource  $i$  zur Zeit  $t$  ;  
 $f_{\downarrow,t}$  : Brennstoffverbrauch (Gas) zur Zeit  $t$  ;  $p_{\downarrow,t,Gas}$  : Brennstoffpreis (Gas) zur Zeit  $t$  ;  $t$  : Zeitindex der Stunde

## Nebenbedingungen

Angebots- und Nachfrageausgleich der Elektrizität	$\sum_{i \in I} \uparrow E_{\downarrow t, i} + f_{\downarrow t} / h_{\downarrow t} + V_{\downarrow t-1} \uparrow E = D_{\downarrow t, EFH} \uparrow E + D_{\downarrow t, WP} \uparrow E + V_{\downarrow t} \uparrow E + \alpha * (1 - \eta) * (V_{\downarrow t} \uparrow E - V_{\downarrow t-1} \uparrow E) \quad \forall t \in T$	
Binärvariable zur Berücksichtigung der Effizienzverluste des Batteriespeichers	$\alpha = \begin{cases} 1, & \text{wenn } V_{\downarrow t} \uparrow E - V_{\downarrow t-1} \uparrow E > 0 \\ 0, & \text{wenn } V_{\downarrow t} \uparrow E - V_{\downarrow t-1} \uparrow E \leq 0 \end{cases} \quad \forall t \in T$	
Angebots- und Nachfrageausgleich der Wärme	$COP_{\downarrow t} * D_{\downarrow t, WP} \uparrow E + f_{\downarrow t} / h_{\downarrow t} * \beta_{\downarrow t} + V_{\downarrow t-1} \uparrow H = D_{\downarrow t, EFH} \uparrow H + V_{\downarrow t} \uparrow H + L_{\downarrow t} \quad \forall t \in T$	
Leistungsgrenze der Elektrizitätsressourcen	$0 \leq E_{\downarrow t, i} \leq a_{\downarrow t, i} \quad \forall t \in T, i \in I$	
Grenzen des Batteriespeichers	$V_{\uparrow E, min} = V_{\uparrow E, max} * DOD \leq V_{\downarrow t} \uparrow E \leq V_{\uparrow E, max} \quad \forall t \in T$	
Grenzen des Wärmespeichers	$V_{\uparrow H, min} \leq V_{\downarrow t} \uparrow H \leq V_{\uparrow H, max} \quad \forall t \in T$	
Parameter	$D_{\downarrow t, EFH}$ Elektrizitätsbedarf eines EFH zur Zeit $t$	$D_{\downarrow t, WP}$ Wärmebedarf eines EFH zur Zeit $t$
	Variablen	$p_{\downarrow t, i}$ Preis der Ressource $i$ zur Zeit $t$

$L_{\downarrow t}$  Leistungszahl der Wärmepumpe zur Zeit  $t$

$h_{\downarrow t}$  Heat rate zur Zeit  $t$

$p_{\downarrow t}$  Strompreis zur Zeit  $t$   
 Einfluss neuer Technologien auf den Leistungsbezug von Haushalten aus dem Netz  
 Effizienz des Batteriespeichers

$s$   
 $L_{\downarrow t}$  Verluste aus Wärmespeicher zur Zeit  $t$   
 $DOD$  Entladetiefe des Batteriespeichers

# Technologieeinsatz beeinflusst Lastprofil eines EFH

Ausgewählte Ergebnisse für modellierten EFH I/II

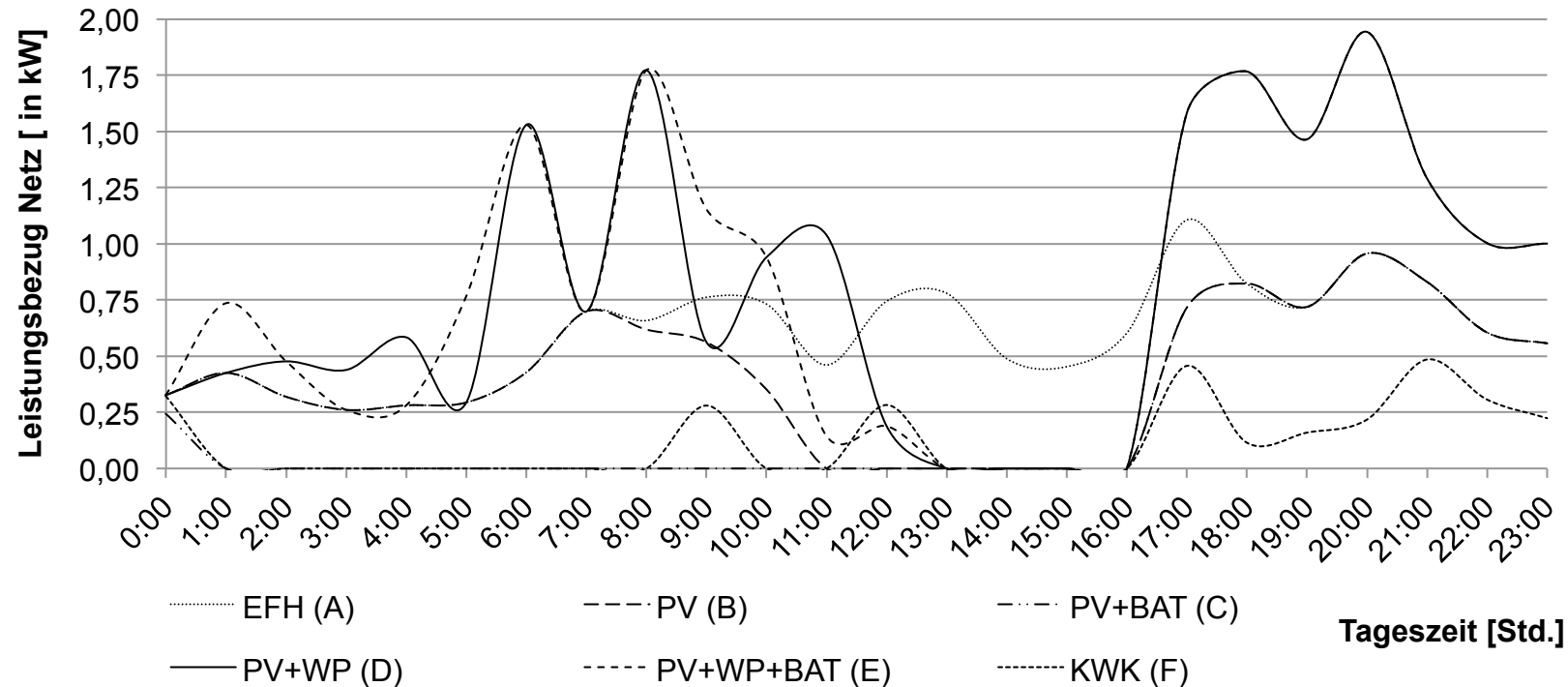


Abb.: Modellierte Lastprofile des Leistungsbezugs aus dem Netz der verschiedenen Anwendungsfälle eines EFH an einem beispielhaften Wintertag (8. Feb. 2013)

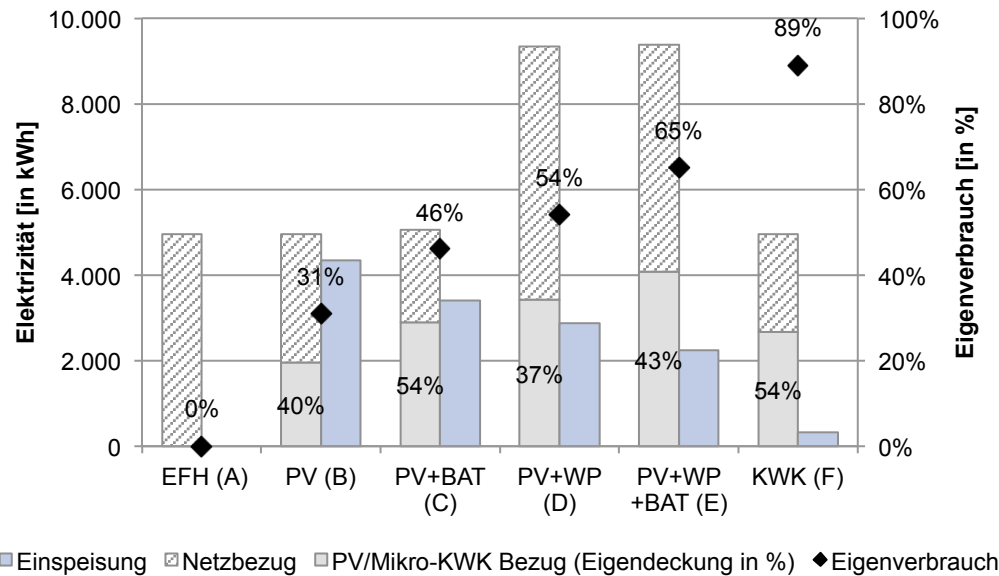
- **PV-Einsatz** macht sich primär zur Mittagszeit bemerkbar
- **Batteriespeicher** ermöglichen zeitliche Verlagerung der Nutzung des PV-Stroms
- **Wärmepumpe** führt zu deutlich höherem Leistungsbedarf außer zu Zeiten hoher PV-Erzeugung
- **KWK-Einsatz** reduziert über gesamten Tagesverlauf Bedarf an Leistung aus dem Netz

# Aktuelle Modellierung hat kaum Einfluss auf Spitzenlast

Ausgewählte Ergebnisse für modellierten EFH II/II

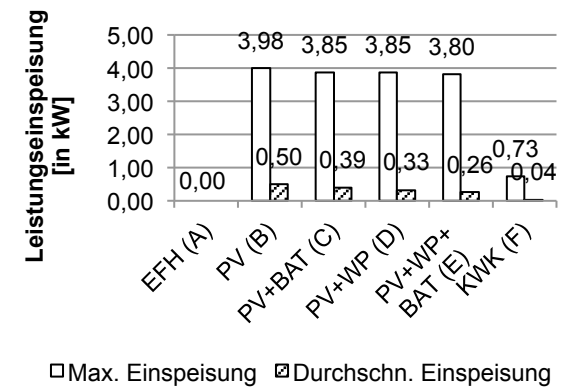
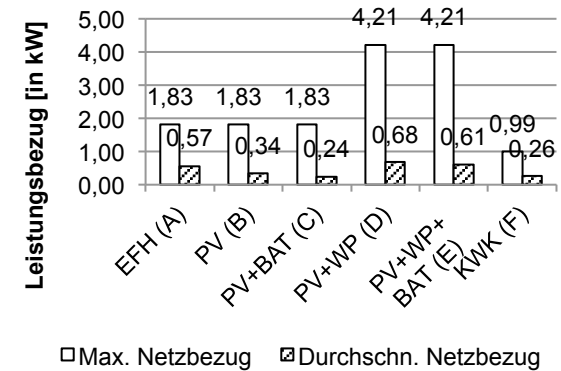


## Einsatz neuer Technologien erhöht Eigenverbrauch von Haushalten...



- Wärmepumpen erhöhen Elektrizität- und Leistungsbezug
- Eigenverbrauch kann durch Technologien gesteigert werden – Netz kann durch reduzierte Einspeiseleistung entlastet werden
- Andere Tarifformen, z.B. variable Arbeits- (€/kWh) oder Leistungspreise (€/kW) können besonders maximalen Netzbezug beeinflussen

## ... und verändert Netzbelastung





# Integration der Haushalte über Tarife mit Leistungspreisen

Konzept zur Integration der Haushalte in Leistungsmarkt

## Wandel des Elektrizitätsmarkts wirft Finanzierungsfrage auf

- Modellergebnisse zeigen, dass Haushalte Netzbezug reduzieren können → Folge: **Beteiligung an Systemkosten sinkt**
- Gleichzeitig **hohe Investitionen in Netze und konventionelle Erzeugung** zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit notwendig – **Leistungspreise** evtl. nötig
- Heute **kein Anreiz** für Haushalte Beitrag zur Versorgungssicherheit zu leisten → **Neue Konzepte** zur Beteiligung von Haushalten erforderlich
- **Marktdesignvorschlag des Verbands kommunaler Unternehmen e.V. (VKU)** sieht Zertifikatemarkt für gesicherte Leistung vor [3]
- Haushalte könnten durch **Tarife mit Leistungspreiskomponenten** integriert werden

## Mögliche Tarifmodelle zur Integration von Haushaltskunden



- EDF und Iberdrola bieten Kunden **Tarife mit begrenztem Leistungsbezug** [4,5]
  - Unterbrechung der Leistungsversorgung bei Überschreiten der Lastgrenze
  - Einbau eines entsprechenden Schutzschalters
- Mögliche **Weiterentwicklung des Tarifs**, dass nur in Knappheitssituationen von Begrenzung Gebrauch gemacht wird
  - Entsprechende technische Ausstattung bei Kunden erforderlich
  - Kundenakzeptanz zu analysieren

## Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU) schlägt Zertifikatemarkt für gesicherte Leistung vor

- Marktdesignvorschlag des VKU** sieht weitergehende Integration von GHD-Kunden (Gewerbe, Handel und Dienstleistung) in Leistungsmarkt durch Bezug von Zertifikaten für gesicherte Leistung vor

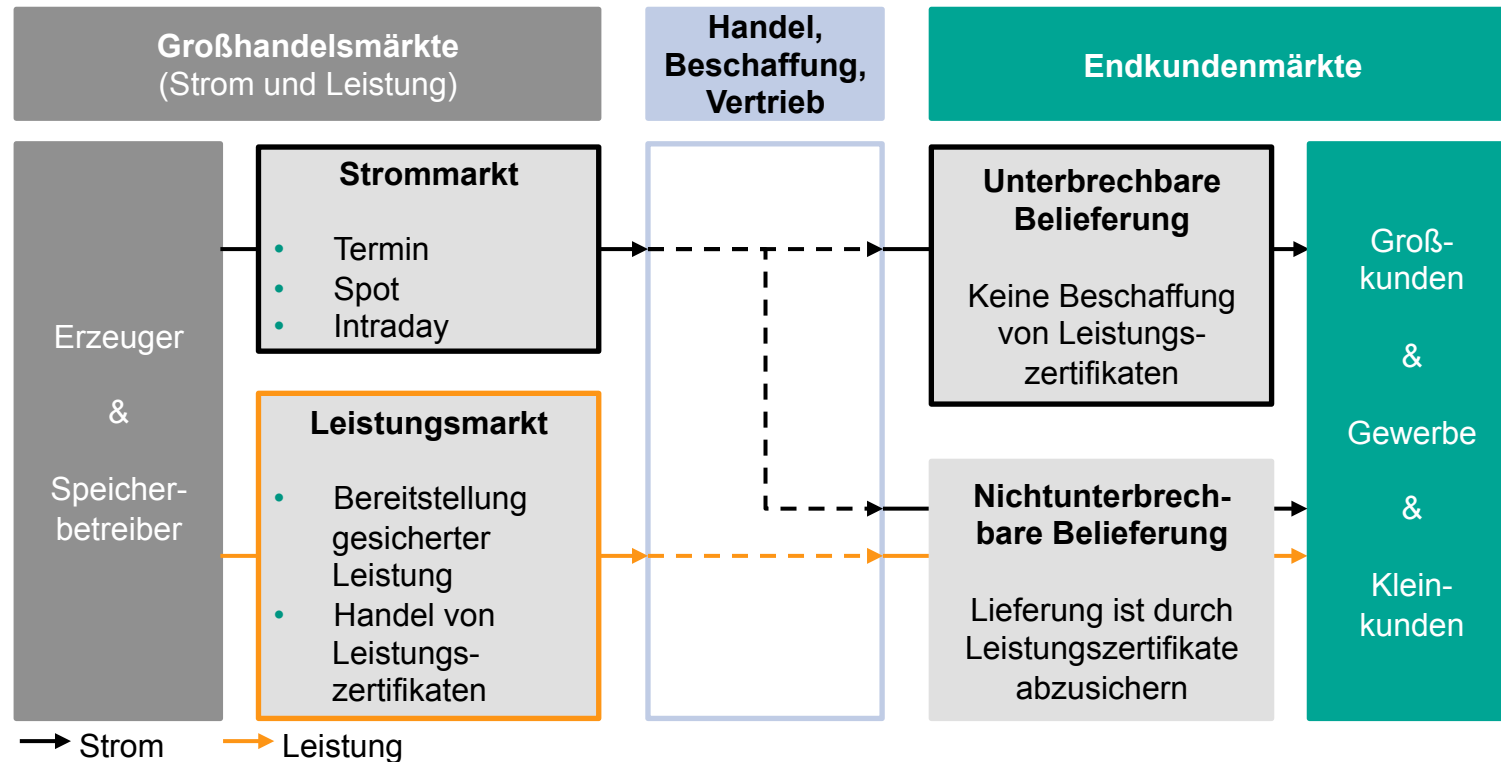


Abb.: Schematische Darstellung des VKU-Marktdesignvorschlags [3]

**Kleinkunden unterliegen im VKU-Vorschlag a priori einer Vollversorgung mit gesicherter Leistung**

## Zusammenfassung und Ausblick

- Die **Auswirkungen neuer Technologien** zur Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung bzw. -speicherung auf den Leistungsbezug eines Einfamilienhaushalts wurden **modellgestützt analysiert**
- Der Einsatz dieser Technologien führt zu einer klaren **Veränderung des Leistungsbezugs** aus dem Netz
- Durch eine **weitere Differenzierung der Haushaltsnachfrage**, z.B. anhand sozio-demographischer Faktoren und der Ausstattung mit Haushaltsgeräten, kann ein noch besseres Verständnis der Lastprofile erreicht werden
- Die **Auswirkungen von Elektrizitätstarifen** mit dynamischen Arbeits- und Leistungspreisen auf den Leistungsbezug aus dem Netz sind im Zusammenspiel mit den modellierten Technologien zu untersuchen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Kontakt

Marian Hayn

Tel.: +49 721 608 44649

marian.hayn@kit.edu

## Literatur

- [1] Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI): Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilien-häusern für den Einsatz von KWK-Anlagen 27.100, 91.140.10 (2008) VDI 4655. o. O.
- [2] Staudacher, T.; Eller, S.: Dezentrale Stromversorgung eines Einfamilienhauses. Stromversorgung mit Photovoltaik, Batterie und Netzanschluss. In: BWK 64 (2012) 6, S. 38–45.
- [3] Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU): Ein zukunftsfähiges Energiemarktdesign für Deutschland, Langfassung. Berlin 2013.
- [4] Electricité de France (EDF): Electricity plans. URL: <http://residential.edf.com/energy-at-home/offers/electricity-56120.html>. Abrufdatum 16.12.2013.
- [5] Iberdrola S.A.: Electricity for home. URL: <https://www.iberdrola.es/customers/home/electricity>. Abrufdatum 16.12.2013.