

# MeRegioMobil-Labor – Entwicklungsumgebung für zukünftige Smart-homes

## MeRegioMobil-Lab – A Development Environment for Future Smart-homes

Dipl.-Ing. Ulrich Reiner, IEH Karlsruher Institut für Technologie, Deutschland, reiner@kit.edu  
Dipl.-Ing. Mattias Kahl, IEH Karlsruher Institut für Technologie, Deutschland, kahl@kit.edu  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Leibfried, IEH Karlsruher Institut für Technologie, Deutschland, leibfried@kit.edu  
Dipl.-Inform. Florian Allering, AIFB Karlsruher Institut für Technologie, Deutschland, allering@kit.edu  
Prof. Dr. Hartmut Schmeck, AIFB Karlsruher Institut für Technologie, Deutschland, schmeck@kit.edu

### Kurzfassung

Am Karlsruher Institut für Technologie entsteht ein Smart-home Forschungs- und Demonstrationslabor. Dieses wird repräsentiert durch ein reales Haus, welches mit dezentralen Erzeugern und mit intelligenten Verbrauchern ausgestattet ist. Im Haus wohnen zeitweise ausgewählte Probanden, um innovative Energiemanagement-Konzepte in realer Umgebung zu evaluieren. Darüber hinaus ist dieses Gebäude mit umfangreicher Mess- und Steuertechnik ausgestattet, um die hier entwickelten Management- und Optimierungsverfahren aussagekräftig evaluieren zu können.

### Abstract

The Karlsruhe Institute of Technology is building a Smart-home research and demonstration lab. This lab is represented by a house fitted with intelligent appliances and decentralized generation units. For the evaluation of innovative energy-management concepts, several probands will live in the building for some time. Furthermore, the building is fitted with extensive measurement and control equipment, to allow for an efficient evaluation of the developed management and optimization techniques.

## 1 Motivation

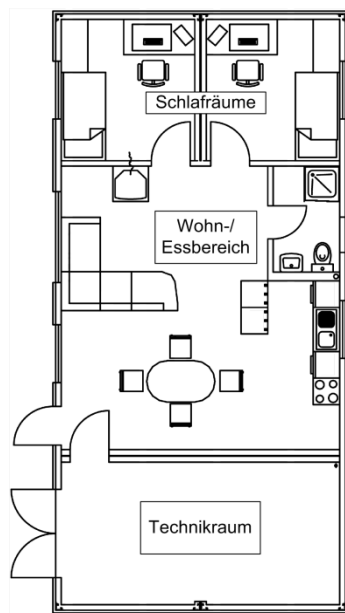
Erneuerbare Energiequellen stellen langfristig und nachhaltig elektrische Energie zur Verfügung. Durch deren fluktuierendes Verhalten in Bezug auf Einspeisung werden die Stromanbieter jedoch zunehmend vor größere Probleme gestellt. Die Stromanbieter sind verantwortlich für die Balance zwischen Erzeugung und Verbrauch. Durch die Pläne der Bundesregierung, die Anzahl von Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2020 [1] auf mind. 5 Mio. zu erhöhen, entsteht im lokalen Stromnetz eine neue Situation.

Es ist davon auszugehen, dass der überwiegende Anteil von Elektrofahrzeugen direkt am Stromanschluss im Haus geladen wird. Ohne ein intelligentes Lastmanagement wird dadurch ein Vielfaches der aktuell benötigten Leistung in den Straßenzügen benötigt, was ab einer gewissen Durchdringung von Elektrofahrzeugen zu einer Überlastung der Niederspannungsnetze führen kann [2].

Durch die zu erwartende zunehmende Anzahl an Smart-homes, die sowohl Informationen und Anreizsignale empfangen und darauf reagieren, als auch ihren aktuellen Zustand kommunizieren, wird eine notwendige Grundlage für ein intelligentes Lastmanagement geschaffen.

Im Rahmen der BMWi-Förderung IKT für Elektromobilität entsteht im Projekt „MeRegioMobil“ [3] am KIT ein Smart-home Forschungslabor. Dieses wird repräsentiert durch ein reales Haus, welches mit dezentralen Erzeugern und intelligenten Verbrauchern ausgestattet ist. Auf der Erzeugerseite existieren ein Blockheizkraftwerk (BHKW)

und eine Photovoltaikanlage. Durch intelligente Steuerung im Smart-home werden Wärme- und Stromerzeugung des BHKWs, sowie die der nicht steuerbaren



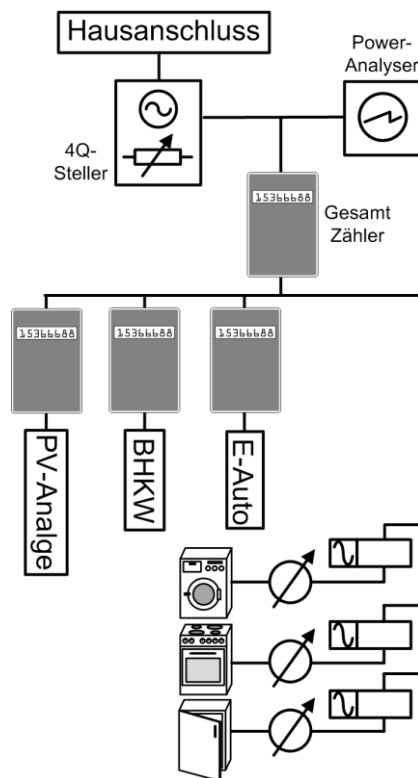
**Bild 1** Grundriss Smart-home-Labor

Photovoltaikanlage hinsichtlich ihrer Restriktionen in ihrem elektrischen und thermischen Lastgang optimiert.

Im Smart-home, als Grundriss in Bild 1 aufgeführt, wohnen zeitweise ausgewählte Probanden, um innovative Energiemanagement-Konzepte in realer Umgebung zu evaluieren. Bei den intelligenten Verbrauchern handelt es sich um steuerbare Haushaltsgeräte und rückspeisefähige Elektrofahrzeuge, deren Lastgänge innerhalb gewisser Freiheitsgrade beeinflusst werden können. Hierbei fließen insbesondere Informationen über Wetter- und Verbrauchsprognosen des Haushalts ein.

## 2 Smart-home Aufbau

Das KIT Smart-home besteht aus einer 60-qm-Wohnung, die zwei Schlafzimmer, einen Wohn- und Essbereich sowie ein Bad enthält. Daran anschließend befindet sich ein 20 qm großer Technikraum, der die dezentralen Erzeuger sowie die Mess- und Steuertechnik enthält.



**Bild 2** Blockschartplan Messtechnik

Auf dem Dach des Gebäudes ist eine Photovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von 4,6 kWp montiert. Das BHKW verfügt über eine elektrische Leistung von 5 kW. Der Netzeingang des Hauses wird, wie in Bild 2 dargestellt, durch einen 4-Quadrantensteller (4Q-Steller) mit einer integrierten Netzzinnenwiderstands-Nachbildung realisiert. Er kann eine Dauerleistung von 3x 10 kVA bzw. eine Spitzenleistung von 3x 20 kVA übertragen. Bei dem 4Q-Steller handelt es sich um einen Leistungsverstärker, welcher in der Lage ist, dreiphasige Ausgangsspannungen beliebiger Kurvenform, Phasenwinkel, Spannungsamplituden mit einer sehr hohen Genauigkeit einzustellen. Die integrierte Netznachbildung ist in der

Lage den Spannungsabfall über eine variable Netzimpedanz zu simulieren.

Hierdurch können starke sowie schwache Netze, wie auch Netzurückwirkungen z. B. Oberwellen, Flicker, Unter-/Überspannung nachgestellt werden, um zu evaluieren wie ein intelligentes, steuerbares Haus z. B. ein schwaches Netz unterstützen kann.

Zwischen 4Q-Steller und Gesamt-Zähler werden mittels Power Analyser Spannung und Strom mit einer hohen Abtastrate festgehalten, um Netzurückwirkungen der Erzeuger zu untersuchen.

Jede im Smart-home befindliche Steckdose ist schaltbar, zudem sind Spannung und Strom komplex messbar. Ziel ist es eine möglichst große Kontroll- und Analyse-möglichkeit im Labor zu realisieren, um das Nutzungsverhalten einzelner Verbraucher genau zuordnen zu können.

Auf diese Weise können präzise Leistungsprofile über das Haus und seine einzelnen Komponenten bestimmt werden, die eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung von Optimierungsalgorithmen darstellen.

Für zukünftige Smart-homes wird der hier betriebene Messaufwand nicht notwendig sein, dieser ist jedoch in der vorgestellten Entwicklungsumgebung zur Evaluierung erforderlich.

Alle einspeisefähigen Anlagen verfügen zur genauen Erfassung über einen eigenen Zähler. Des Weiteren werden im Gesamt Zähler dauerhaft Wirk- und Blindleistung, wie auch Spannung und Strom aufgezeichnet.

### 2.1 Begriffsdefinition „Smart-home“

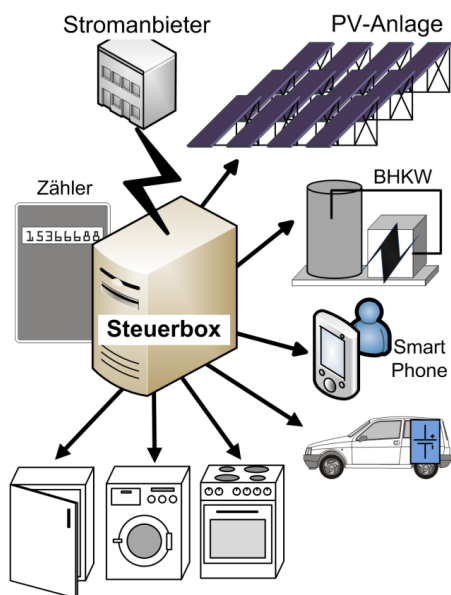
In der Literatur finden sich viele Definitionen eines Smart-homes. In dem hier vorgestellten Projekt liegt der Fokus insbesondere auf der Kooperation, in Bild 3 dargestellt, von Haushaltsgeräten innerhalb eines Hauses sowie der Reaktion auf ein externes Anreiz- bzw. Steuerungssignal.

Das gemeinsame Ziel ist energieeffizientes Verhalten. Die Vorgaben dafür werden durch den Stromanbieter an das Haus kommuniziert.

Die einzelnen Haushaltsgeräte müssen für diesen Kooperationsansatz „intelligent“ sein. Die Definition „intelligentes“ Haushaltsgerät umfasst ein Gerät, das einerseits seinen aktuellen Zustand kennt und insbesondere diesen kommunizieren kann und andererseits auf Steuerungssignale reagieren kann.

Bei dieser Definition eines intelligenten Hauses werden über die Haushaltsgeräte hinaus Komponenten wie dezentrale Erzeuger und Heizungs- und Klimasysteme betrachtet. Auch hier wird eine Kommunikations- und Steuerfähigkeit vorausgesetzt.

Die Steuerung der Kooperation der einzelnen Komponenten erfolgt über eine zentrale Instanz im Haus, die Steuerbox. Dabei handelt es sich um ein möglichst stromsparendes Informationsverarbeitungssystem, beispielsweise basierend auf der Intel Atom Technologie [4].



**Bild 3** Kooperation der einzelnen Komponenten

## 2.2 Kooperation der Komponenten

Die zentrale Komponente im Haus wird durch die Steuerbox, wie im vorigen Abschnitt beschrieben, realisiert. Sie empfängt Signale vom Stromanbieter. Diese Signale können entweder ein längerfristiges Preissignal sein; z. B. eine Preisverlaufskurve für die nächsten 24 Stunden. Ebenso kann es sich um ein kurzfristiges Signal handeln um momentane Engpässe durch Planungsabweichungen oder auch durch Überlast eines Teilnetzes ausgleichen zu können. Stabilitätsprobleme in einem Teilnetz können zum einen durch eine massive Gleichzeitigkeit an Ladevorgängen von Elektrofahrzeugen entstehen.

Zum anderen kann der Betrieb zahlreicher dezentraler Anlagen einen Anstieg der Netzspannung verursachen oder zu Unsymmetrie im Netz führen. Im einen Fall würde also ein Signal zum Lastabwurf, im anderen zur Lasterhöhung oder zur aktiven Aufnahme von Blindleistung gesendet werden.

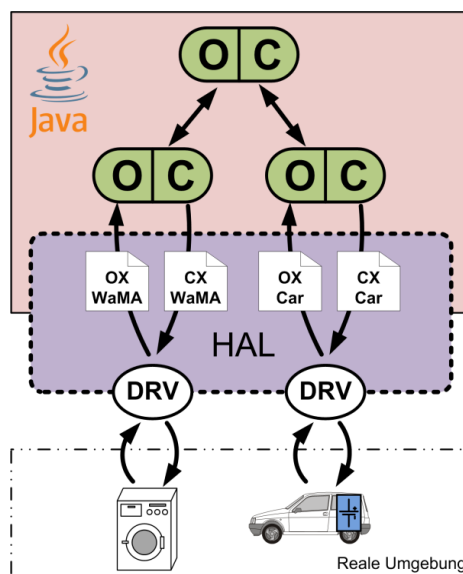
Die Steuerbox verarbeitet dieses Signal unter Berücksichtigung von Benutzerpräferenzen, z. B. durch Eingaben mittels einer Smartphone-Applikation. Die kommunikationsfähigen Komponenten des Smart-homes teilen kontinuierlich der Steuerbox ihren aktuellen Zustand mit, sowie ihre technischen Restriktionen (z. B. eine Waschmaschine soll nur waschen, wenn sie zuvor mit Wäsche befüllt wurde).

Aus den Vorgaben durch Benutzer und Stromanbieter zusammen mit dem aktuellen Zustand berechnet die Steuerbox einen möglichst optimalen, den Restriktionen genügenden Fahrplan für die einzelnen Komponenten im Haus. Dieser wird nun an die Komponenten kommuniziert und die Steuerbox überwacht kontinuierlich den Ablauf des Fahrplans. Sollten Änderungen eintreten, so versucht die Steuerbox möglichst darauf zu reagieren und den Fahrplan innerhalb der akzeptablen Grenzen zu halten.

## 2.3 O/C-Architektur

Die Software-Architektur der Steuerbox, die in Bild 4 dargestellt ist, basiert auf der Observer/Controller-Architektur (O/C) aus dem Kontext des Organic Computing [5]. Dabei verfügt jede reale Haushaltskomponente (Herd, Waschmaschine, etc.) über eine logische lokale Observer/Controller-Komponente (O/C-Komponente). In der lokalen Observer-Komponente werden Messdaten über die Haushaltskomponente gesammelt und in der lokalen Controller-Komponente werden Entscheidungen über Steuersignale an die Haushaltskomponente getroffen, wie bereits in [6] beschrieben. Eine darüberliegende zentrale O/C-Komponente koordiniert den Gesamtzustand des Hauses.

Jede Komponente (Haushaltsgerät, dezentraler Erzeuger etc.) implementiert in der Regel ihr eigens, teilweise proprietäres Kommunikationsprotokoll. Es ist also erforderlich, wenn eine Kooperation zwischen den Komponenten ermöglicht werden soll, diese Heterogenität und Herstellerabhängigkeit zu überwinden. Es lassen sich jedoch aus den einzelnen Komponenten Klassen bilden,



**Bild 4** O/C-Architektur mit Abstraktionsschicht (HAL)

die herstellereinspezifische Unterschiede abstrahieren. Um diese Klassen bilden zu können, wurde eine Abstraktionsschicht (Hardware Abstraction Layer, HAL) eingeführt, die die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten und der zentralen Steuerung unifiziert und so auf minimal notwendige Parameter reduziert. Dadurch lassen sich für jede Geräteklasse je ein eigenes minimales Datenaustauschobjekt OX (ObserverExchange) und CX (ControllerExchange) bestimmen (z. B. OX/CX WaMa, OX/CX Car). Dabei steht das OX-Objekt für die Menge an, von der Komponente kommuniziert und damit beobachtbaren, Daten und das CX-Objekt für die Menge an möglichen Steuerbefehlen für die einzelne Komponente. Verfügt die Komponente nicht über einzelne, z. B. von dem OX-Objekt geforderte, Daten oder müssen sie noch

aufbereitet werden, wird dies in einer Treiberkomponente (DRV) realisiert. Diese muss herstellerspezifisch erstellt werden und adaptiert das herstellerproprietäre Protokoll auf das für die einzelne Geräteklasse definierte minimale OX/CX-Datenobjekt. Durch diese Architektur kann darüber hinaus eine Aussage gemacht werden, welche minimalen Informationen von einer Komponente in einem Smart-home an das Steuersystem kommuniziert werden müssen, bzw. welche Steueroptionen für die entsprechende Komponenteklasse minimal erforderlich sind.

Um eine möglichst große Plattformunabhängigkeit zu erreichen, wurde die Steuerbox in Java implementiert. Der durch die O/C-Architektur bedingte modulare Aufbau begünstigt die Forschungsarbeit mit unterschiedlichen Lern- und Optimierungsverfahren und erlaubt deren direkten Vergleich durch einfaches Austauschen der entsprechenden O/C-Komponenten.

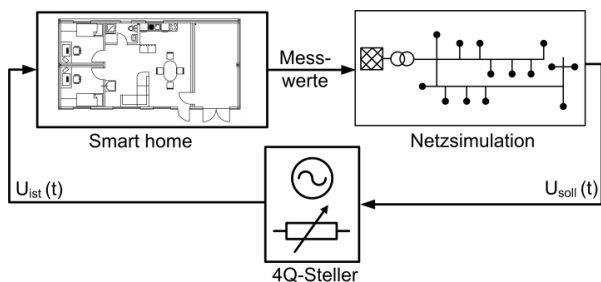
### 3 Netz-Simulationen

Um das Verhalten eines Smart-homes in einem Versorgungsnetz evaluieren zu können wird am KIT ein Hardware-in-the-loop Prüfstand (HIL) für Smart-homes entwickelt. Der HIL-Prüfstand besteht aus einem 4-Quadrantensteller (4Q-Steller) mit Netznachbildung und einem simulierten Versorgungsnetz.

Dabei soll, wie in Bild 5 dargestellt, das reale Haus mit dem 4Q-Steller betrieben werden. Die Verbrauchs- und Einspeisewerte des Smart-homes werden messtechnisch erfasst und an die Netzberechnungssoftware weitergegeben.

Eine Simulationssoftware berechnet den Spannungsverlauf für den Netzknotenpunkt, in dem sich das Smart-home befindet, und gibt nun neue Parameter an den 4Q-Steller weiter. Dieser generiert die angepasste Netz-situation am Hausanschluss.

Mittels des 4Q-Stellers können eine beliebige komplexe Spannung, die Netzfrequenz und die Netzimpedanz vorgegeben werden.



**Bild 5** Hardware in the loop

Dadurch ist es zunächst möglich das Verhalten jeglicher Komponenten im Smart-home, wie das Elektroauto oder die Photovoltaikanlage, bei verschiedenen Netzzuständen zu überprüfen.

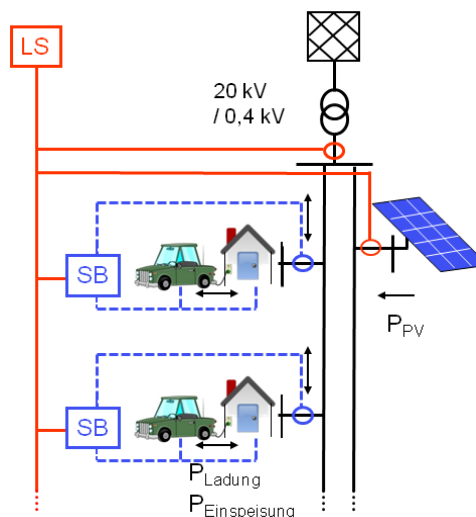
Der dynamische Betrieb von Smart-home, 4Q-Steller und Simulationssoftware ermöglicht das Verhalten des Smart-

homes im Versorgungsnetz sehr genau nachzubilden. Erstellte Steuerungs- und Regelungskonzepte für die Komponenten des Smart-homes können auf die Veränderung des Netzzustandes hin untersucht werden.

Durch das softwareseitig beliebig vorzugebende Netz und die hohe Flexibilität des 4Q-Stellers, ist es möglich jede erdenkliche Netzkonfiguration, Netzzustand und Spannungsqualität einzustellen und an den real existierenden Komponenten zu erproben.

Da der Einfluss eines Haushalts auf den Netzzustand gering ist, soll in der Simulation das Verhalten eines gesamten Netzabschnitts mit einer Vielzahl an intelligenten sowie nicht intelligenten Haushalten nachgestellt werden. Dazu dient ein entsprechendes übergeordnetes Leitsystem (LS), wie in Bild 6 ersichtlich.

Dieses koordiniert dezentrale Einspeiser und soweit möglich den Verbrauch. Somit kann der Netzzustand nachhaltig verändert werden, und Betriebsmittel können effizienter ausgelastet werden.



**Bild 6** Schema eines Netzabschnittsleitsystems

Hierzu tauschen Leitsystem, Steuerbox (SB) und Einspeiser Daten aus.

Das Gesamtverhalten von Verbraucher, Einspeisern, Energieverteilungsnetz und die dazu gehörigen Regelungen können erprobt werden. Durch den HIL-Prüfstand wird das simulierte Verteilnetz inklusive Leitsystem und die durch das Leitsystem vorgegebenen Anreiz- bzw. Steuersignale für das Smart-home real umgesetzt.

### 4 Netzschonende Ladestrategien für Elektrofahrzeuge

In dem beschriebenen Aufbau ist es durch die Verfügbarkeit vieler Verbraucher und dezentraler Erzeuger möglich, unterschiedlichste Smart-home Ansätze zu entwickeln und an der realen Hardware zu untersuchen. Durch die Integration des Elektrofahrzeugs in das elektrische Hausnetz steht zusätzlich ein steuerbarer Großverbraucher zur Verfügung, der zur Zwischenspeicherung elektrischer

Energie in der Fahrzeugbatterie genutzt werden kann. Durch den großen Strombedarf ist es erforderlich, die Fahrzeuge möglichst netzschonend zu laden, um Engpässe zu vermeiden.

Die nachfolgend erläuterten Steuerverfahren sollen im Smart-home erprobt werden.

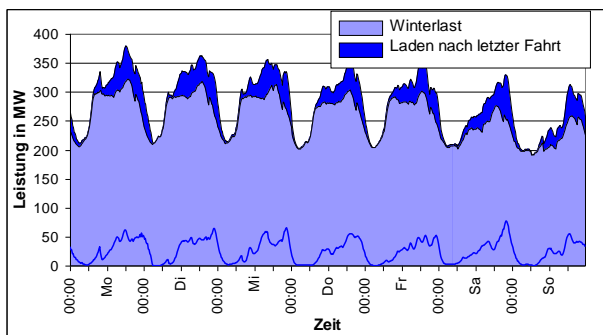
#### 4.1 Lastverschiebung durch Preissignalisierung

Zukünftig werden die Energieversorger ihren Kunden dynamische Stromtarife ihren Kunden zur Verfügung stellen, die Tageszeit abhängig die preisliche Entwicklung der Strombeschaffung nachbilden, und an den Endkunden weitergeben.

Dadurch soll den Kunden der Anreiz gegeben werden, Strom dann zu verbrauchen, wenn er kostengünstig bereitgestellt werden kann. Im Smart-home wird die kostenoptimierte Verbrauchersteuerung durch die Steuerbox automatisiert.

Insbesondere die Ladung der Elektrofahrzeuge kann zu Schwachlastzeiten, in der Regel von 22 bis 6 Uhr, erfolgen, und somit die Netzbelastung zu Hochlastzeiten am Mittag und Abend reduzieren.

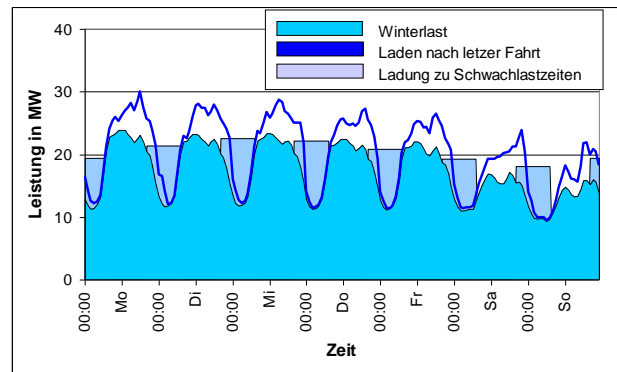
Untersuchungen am KIT haben ergeben, dass die gesteuerte Ladung von Elektrofahrzeugen zu Schwachlastzeiten die Lastgangspreizung in einem städtischen Energieversorgungsnetz über den Tag deutlich reduzieren kann. Es wurde in der Untersuchung von einer 100%igen Durchdringung mit Elektrofahrzeugen bei Tagesfahrstrecken unter 100km ausgegangen. Basierend auf statistischen Mobilitätsdaten [7] konnte das zu erwartende Gesamtladeleistungsprofil ermittelt werden, und mit dem durchschnittlichen Wochenlastprofil der Betrachtungsregion überlagert werden. In Bild 7 sind der durchschnittliche Wochenlastgang sowie die Gesamtladeleistung aller Fahrzeuge des gesamten Stadtgebietes dargestellt.



**Bild 7** Städtisches Lastprofil bei ungesteuerter Ladung

Wie in dem Diagramm zu erkennen ist, fällt der Ladeleistungsbedarf bei ungesteuerter Ladung der Fahrzeuge nach der letzten Fahrt des Tages zeitlich hauptsächlich auf die abendliche Starklastphase, und kaum in die Schwachlastzeiten. Eine gesteuerte Aufladung bietet deutliches Potenzial zur Reduktion der Lastgangspreizung, wie man in Bild 8 erkennen kann. In diesem Beispiel wurde die benötigte Fahrenergie eines durch ein Umspannwerk ver-

sorgten Stadtgebietes auf die Schwachlastphase zwischen 20 Uhr abends und 7 Uhr früh verteilt.



**Bild 8** Potenzial gesteuerter Ladung zu Schwachlastzeiten

Elektromobilität bietet offensichtlich die Möglichkeit, durch eine gesteuerte Ladung zu Schwachlastzeiten den Lastgang über den Tagesverlauf stark zu egalisieren.

Die Auswirkungen der preissignalsbasierten Verbrauchersteuerung auf das Energieversorgungsnetz können in dem Smart-home Aufbau mittels des simulierten Verteilnetzes untersucht werden. Insbesondere die Folgen des zu erwartenden Lawinenverhaltens auf die Netzinfrastruktur können damit analysiert werden.

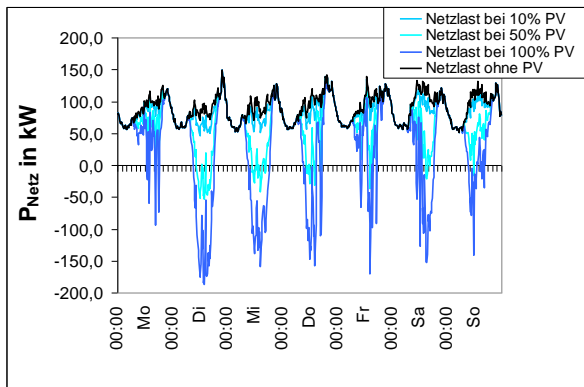
#### 4.2 Untersuchung neuartiger Ladeverfahren

Die zunehmende Verbreitung dezentraler regenerativer Einspeiser im Niederspannungsnetz stellt die Netzbetreiber vor neue Herausforderungen. Stellenweise kommt es schon heute zu Netzengpässen, die einen Netzausbau erforderlich machen.

Bild 9 zeigt den gemessenen Niederspannungslastgang eines Wohngebietes. Simuliert wurde, bei variabler Durchdringung mit Photovoltaikanlagen, die Einspeisung auf 400V Ebene, basierend auf realen Einstrahlungsmesswerten der gleichen Betrachtungswoche.

Es wurden Anlagen mit einer Größe von 4kWp angenommen. Die Grafik zeigt, dass sich ab einer Verbreitung von 50%, somit würde jeder zweite Haushalt über eine Photovoltaikanlage verfügen, die Lastflussrichtung im Verteilnetz umkehren kann.





**Bild 9** Netzlast bei variabler PV-Anlagen Anzahl

Es kommt zu einer Speisung des Mittelspannungsnetzes aus dem Niederspannungsnetz. Die starke Lastschwankung sorgt zudem für hohe Schwankungen in der Netzspannung der Endkunden. Die gezielte Ladung von Fahrenergie aus dezentralen Erzeugeranlagen führt zu einer Entlastung der Netzinfrastruktur. Wird über den Netzabschnittsbedarf hinaus dezentral Energie erzeugt, so kann diese in den Fahrzeugbatterien zwischengespeichert werden.

Im Smart-home Labor können optimierte Ladestrategien entwickelt, und die tatsächliche Entlastung der Netze in dem simulierten Verteilnetz beobachtet werden. Der gezielte Einsatz von steuerbaren Verbrauchern, und dezentralen elektrischen Speichern, wie sie im Smart-home vorhanden sind, sorgt für eine direkte Nutzung der dezentral erzeugten Energie.

In dem realen Aufbau können die dazu nötigen Steuerverfahren entwickelt, und die praktische Funktionalität durch die Bewohner getestet werden.

## 5 Zusammenfassung

Die aktuellen Arbeiten am KIT im Rahmen von MeRegioMobil umfassen u.a. den Aufbau eines Smart-homes, das in der Lage ist auf externe Anreizsignale zu reagieren und sich dementsprechend energieeffizient zu verhalten. Um dies zu erreichen, ist das Haus mit dezentralen Erzeugern und Verbrauchern ausgerüstet.

Ein Elektrofahrzeug, das bidirektional betrieben wird, stellt einerseits einen steuerbaren Verbraucher dar. Auf der anderen Seite kann es als elektrischer Energiespeicher genutzt werden.

Das Smart-home wird über einen 4Q-Steller versorgt, der es flexibel ermöglicht jede Netzsituation darzustellen. Dadurch können die Auswirkungen von steuerbaren Haushalten, dezentralen Erzeugern und Elektrofahrzeugen in realen Netzsituationen nachgestellt werden.

## 6 Literatur

- [1] Bundesregierung: Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität, Berlin, 2008
- [2] U. Reiner, T. Leibfried, F. Allerding, H. Schmeck: Potenzial rückspeisefähiger Elektrofahrzeuge und steuerbarer Verbraucher im Verteilnetz unter Verwendung eines dezentralen Energiemanagementsystems, Internationaler ETG-Kongress 2009, Seiten: 329-334, VDE, Berlin-Offenbach, 2009
- [3] MeRegioMobil: <http://meregiomobil.forschung.kit.edu/>, zugegriffen am 20.07.2010
- [4] Intel Atom Technologie, Intel Corporation, <http://www.intel.com/technology/atom/>, zugegriffen am 20.07.2010
- [5] H. Schmeck: Organic Computing: A new vision for distributed embedded systems, Proceedings Eighth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real Time Distributed Computing (ISORC 2005), IEEE Computer Society, 2005
- [6] F. Allerding, B. Becker, H. Schmeck Integration intelligenter Steuerungskomponenten in reale Smart-home-Umgebungen, GI Jahrestagung 2010, GI, LNI, 2010
- [7] Mobilität in Deutschland Ergebnisbericht; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Abt. Energie, Verkehr, Umwelt; Berlin 2004