



Autarke Versorgung mit Wind- und Sonnenenergie

# Das intelligente Haus

Angesichts der zukünftigen Knappheit fossiler Brennstoffe und Sorgen um die Umwelt stellt Wind- und Solarenergie eine gute Alternative dar. Weltweit gibt es Pilotprojekte, um erneuerbare Energien effizient zu erforschen, zu entwickeln und zu erzeugen. In Japan sind die Erwartungen an erneuerbare Energiequellen seit dem Atomunfall in Folge des Erdbebens in Tohoku am 11. März 2011 höher denn je. dSPACE Japan K.K ist in drei Konsortien aktiv, die eine konkrete Umsetzung in Pilotprojekten entwickeln und testen.

Der Energiebedarf nimmt weltweit kontinuierlich zu. Dafür gibt es verschiedene Ursachen, zum Beispiel das globale Wirtschaftswachstum, die fortschreitende Elektrifizierung sowie die wachsende Weltbevölkerung. Längst ist klar, dass ein grundlegendes Umdenken im gesamten Zyklus der Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung notwendig ist, um langfristig eine stabile Versorgung zu garantieren.

Ein Ansatzpunkt sind autarke Lösungen, bei denen Strom und Wärme direkt beim Verbraucher aus Wind und Sonne erzeugt und verbraucht werden. So soll eine stabile Stromversorgung aus erneuerbaren Energiequellen gewährleistet sein, wenn die Systemversorgung durch Stromausfall oder ähnliches unterbrochen ist; außerdem sollen CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert werden, die bei der konventionellen Energieerzeugung, etwa in Kohlekraftwerken, unvermeidbar sind.

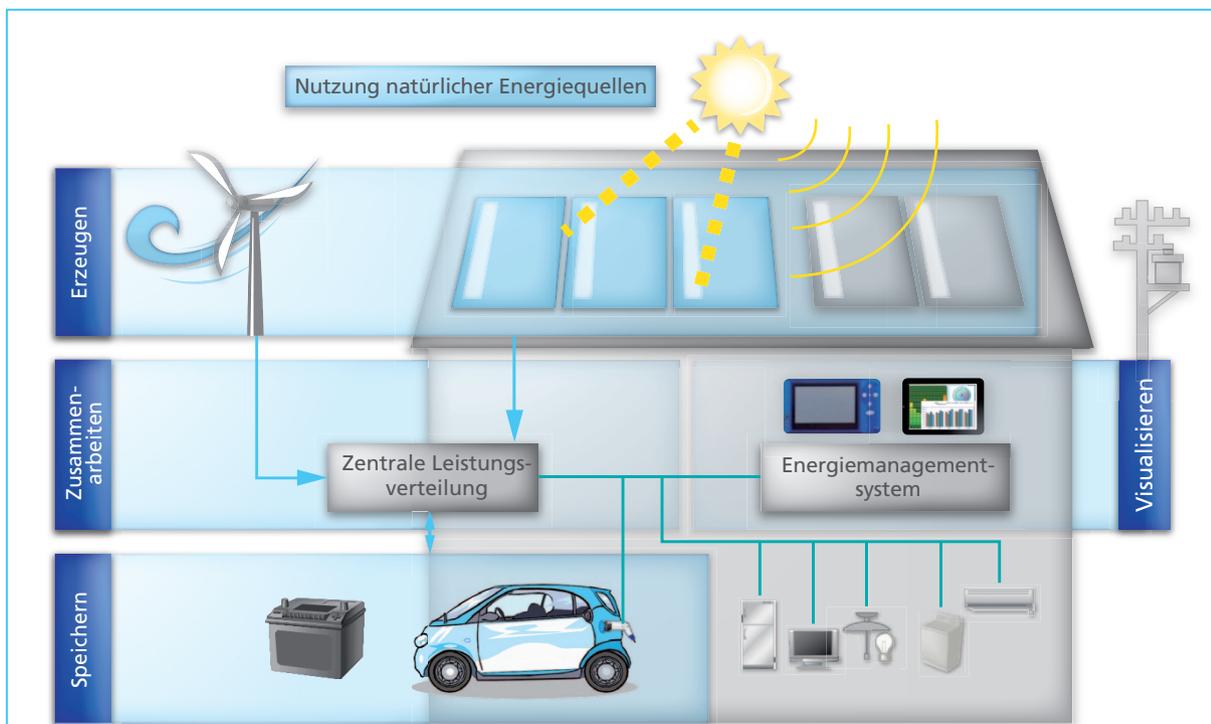
### Was ist Smart?

Eine Strom- und Wärmeerzeugung direkt beim Verbraucher wird als dezentral bezeichnet, da sie direkt dort erfolgt, wo die Energie benötigt wird, anstatt in einem großen zentralen Kraftwerk, um sie dann über Stromleitungen weiterzuverteilen. Bei der Vorstellung und Definition dezentraler Energiekonzepte wird häufig der Begriff „Smart“ verwendet, beispielsweise für „Smart-Haus“ oder „Smart Grid“. Gemeint ist hierbei eine Vernetzung zwischen Energieerzeugung, -verbrauchssteuerung und -speicherung. Die einzelnen Komponenten sind durch ein Kommunikationsnetz mit einer zentralen Steuerungseinheit verbunden (Abbildung 1).

Die Steuerungseinheit überwacht jede Veränderung im Gesamtsystem und regelt dementsprechend die Energieverteilung. Ziel ist es, jederzeit eine ausreichende Energieversorgung sicherzustellen und gleich-

zeitig die benötigten Speichereinheiten zu minimieren, da Akkumulatoren heute noch einen großen Kostenfaktor darstellen. Ein typisches Smart-Haus umfasst eine regenerative Energieerzeugung wie Photovoltaik, Solarthermie oder Windkraft. Zur Energiespeicherung kommen klassische Komponenten wie stationäre Akkus oder Warmwasserthermen zum Einsatz. Ein elektrisches Fahrzeug wird in erster Linie zum Aufladen angeschlossen, lässt sich im Bedarfsfall aber auch kurzfristig als zusätzliche Energiequelle nutzen. Somit können Schwankungen bei der Erzeugung und Nachfrage ausgeglichen werden (Abbildung 2). Bei aller Unabhängigkeit besteht ein Smart-Haus nicht losgelöst vom öffentlichen Stromnetz. Während akuter Stromengpässe kann darauf zurückgegriffen oder bei massiver Überproduktion Energie eingespeist werden. Die Entwicklung der Regelalgorithmen für die zentrale Steue-

Abbildung 1: Schematische Darstellung eines idealisierten Smart-Hauses.



## Von dSPACE unterstützte Projekte

### Fukuoka Smart House Consortium

Das Fukuoka Smart House Consortium ist ein Zusammenschluss aus verschiedenen Firmen und Forschungseinrichtungen. Seit Juni 2010 erforschen sie Möglichkeiten einer nachhaltigen Energiestruktur unter Einbeziehung der Interessen sowohl von öffentlichen Stellen als auch von Konzernen. Den Vorsitz führt Yoshimichi Nakamura vom Smart Energy Labor, Vize-Vorsitzender ist Hitoshi Arima, Niederlassungsleiter von dSPACE Japan K.K. dSPACE unterstützt die Umsetzung sowohl mit Know-how als auch mit Hard- und Software. Zusammen mit dem von Yoshimichi Nakamura gegründeten Smart Energy Laboratory als technischer Partner wurde das Konzept eines Smart-Hauses entworfen.

### Yokohama Smart Community

Die Yokohama Smart Community ist ein weiteres Projekt mit Beteiligung

von dSPACE Japan K.K. Den derzeitigen Vorsitz hat Hitoshi Arima inne. Nach dem Start im Juni 2011 wurde Anfang 2012 mit dem Entwurf eines Smart-Hauses begonnen. Ziel ist es auch hier, die Möglichkeiten einer CO<sub>2</sub>-vermeidenden, ressourcenschonenden Energieversorgung auszuloten. Wie auch das Fukuoka Smart House Consortium unterstützt dSPACE das Projekt mit technischem Know-how, Hard- und Software. Zusätzlich bietet dSPACE den beteiligten Gruppen eine Präsentationplattform, beispielsweise die dSPACE Anwenderkonferenz in Tokio, wo unter anderem das Mini-Smart-Haus vorgestellt wurde.

### Langfristige Ziele der Untersuchungen

- Gesellschaftliche Etablierung eines neuen Lebensstils
- Konsortium (Forum für Aktivitäten) und Plattform (Entwicklungs-umgebungen)

- Smart Community zur Nutzung von Synergieeffekten
- Entwicklung von neuen Konzepten für Ernährung und Energieversorgung
- Schaffen von Voraussetzungen für die Umstellung privater Haushalte und Unternehmen
- Bereitstellung einer sozialen Infrastruktur für ein dezentrales Energiesystem

Zahlreiche Teilnehmer der Pilotprojekte sind in der Entwicklung von energierelevanten Technologien und in unabhängigen Forschungsprojekten aktiv. Im Juli 2012 wurde die Nagasaki Smart Society gegründet, um mehr Möglichkeiten für gemeinsame Pilotprojekte zu schaffen. Diese engagiert sich für den Aufbau einer nachhaltigen Gesellschaftsstruktur mit hochmodernen Technologien.

Abbildung 2: Backsteinhaus in Island City in Fukuoka, in dem Demo-Experimente durchgeführt werden.



rungseinheit stellt eine Herausforderung dar, weil ein optimales Energiemanagement viele Faktoren und gegenseitige Einflüsse erkennen und berücksichtigen muss.

### Aktuelle technische Situation

Durch die technischen Entwicklungen in den letzten Jahren ist die Konstruktion von Smart-Häusern und Smart-Städten erst möglich geworden. Heutige Akkumulatoren besitzen im Vergleich zu früher eine wesentlich höhere Kapazität und verbesserte Ladeigenschaften, und das alles zu einem bezahlbaren Preis. Gleichzeitig steigt die Anzahl der Elektrofahrzeuge. Diese erfordern eine praktische und praktikable Auflademöglichkeit – die ein Smart-Haus bietet – und können gleichzeitig selber als Zwischenspeicher dienen. Des Weiteren wurde die vernetzte Kommunikation zwischen verschiedenen Haushaltsgendgeräten vorangetrieben, die eine zentrale Steuerung realisierbar macht. Erst durch die Kombination all dieser

Neuerungen wird der Aufbau eines Smart-Hauses möglich und wirtschaftlich sinnvoll.

### Entwicklung der Regelalgorithmen

Zum effizienten Energiemanagement eines Smart-Hauses gehören verschiedene Aufgaben:

- Überwachen der Stromerzeugung
- Verwalten der Stromspeicherung
- Abgleichen zwischen Stromverbrauch und Stromangebot
- Regeln des Verbrauchs abhängig von der Energieverfügbarkeit

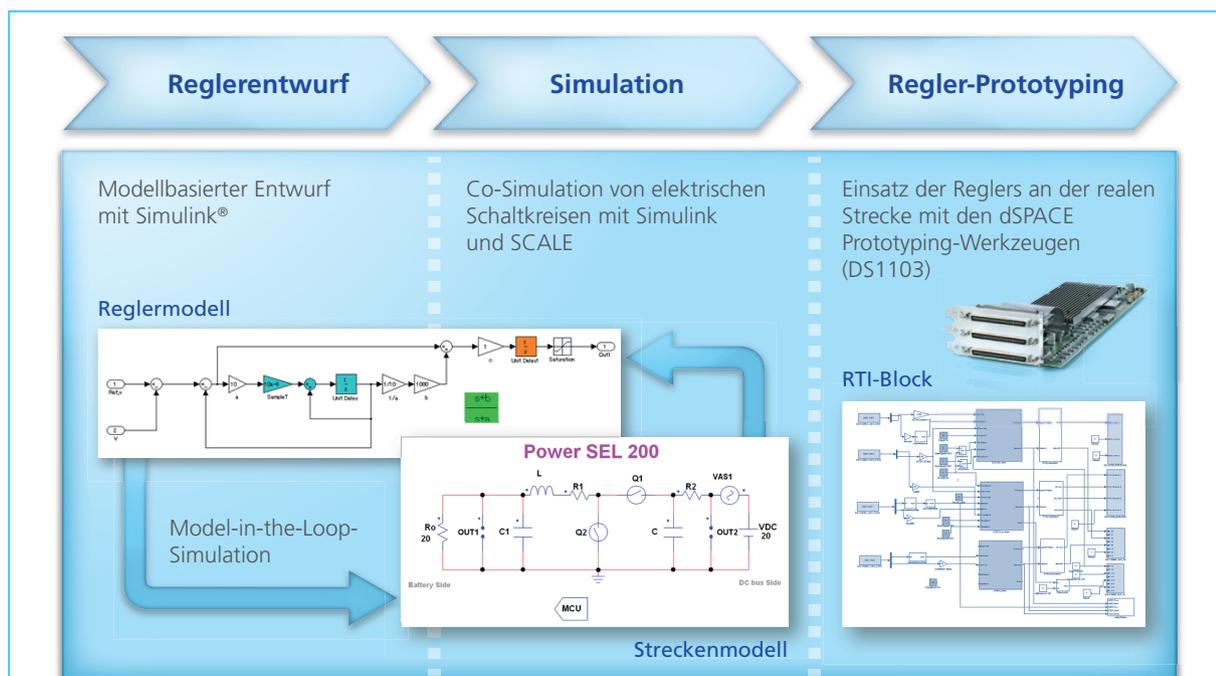
Beim Pilotprojekt des Fukuoka Smart House Consortiums wurden die Regelalgorithmen für das Energiemanagement in Simulink entwickelt. Durch den modellbasierten Ansatz konnten die Entwicklungszeiten im Vergleich zu konventionellen Ansätzen drastisch reduziert werden. Für realistische Tests ist neben den reinen Regelalgorithmen auch ein Umgebungsmodell notwendig, das Ein-

flüsse von außen darstellt. Das verwendete Umgebungsmodell, mit dem die Regelalgorithmen getestet wurden, hat Professor Nakahara vom Electronics Research Lab der Sojo Universität in Kumamoto mit der Simulationssoftware SCALE entwickelt. Mittels Model-in-the-Loop-Simulation wurde das Reglermodell so iterativ optimiert (Abbildung 3). Nach der Optimierung wurden die fertigen Regelalgorithmen auf die dSPACE Rapid-Control-Prototyping-Hardware DS1103 heruntergeladen. Das DS1103 PPC Controller Board dient als zentrale Steuereinheit für das Modell eines Mini-Smart-Hauses.

### Mini-Smart-Haus als Modell

Das Mini-Smart-Haus ist ein verkleinerter Modellaufbau (Abbildung 4) eines realen Smart-Hauses und dient als Versuchsobjekt für weitere Tests der Regelalgorithmen. Für die Entwicklung eines intelligenten Energiemanagements musste als erstes ein Verständnis für das Verhalten von Energiekreisläufen aufgebaut

Abbildung 3: Darstellung des modellbasierten Entwicklungsprozesses für das Fukuoka Smart-Haus-Pilotprojekt.



## Ziel der Energiemanagement-Experimente ist es, die erzeugte Energie möglichst vor Ort zu verwenden.

werden, um die Auswirkungen verschiedener Regelstrategien auf die Energieeffizienz zu verstehen. Der Modellaufbau hat ein Fünftel des Energiebedarfs eines realen Hauses, verfügt jedoch über eine vollständige zentrale Regelungseinheit. Die Energieerzeugung durch Photovoltaik- und Windkraftanlagen wird auf Basis von Wettervorhersagen berechnet und simuliert. Als Speicher-einheiten sind eine reale Batterie sowie ein simuliertes Elektrofahrzeug vorhanden. Dem angenommenen Energieverbrauch liegen Standard-Verbrauchsverläufe einer Durchschnittsfamilie zugrunde. Ziel der Energiemanagement-Experimente ist es, die erzeugte Energie möglichst vor Ort zu verwenden, um Belastungen des öffentlichen Stromnetzes durch Stromspeisungen zu vermeiden.

Durch Eigenverbrauch und Speicherung werden starke Schwankungen vermieden, da beispielsweise bei hohem Windaufkommen viele Haushalte gleichzeitig Energie einspeisen würden. Dennoch soll eine Einspeisung möglich sein, um Energieknappheit an anderen Stellen ausgleichen zu können. Visualisiert werden die Energieflüsse und Kontrollmöglichkeiten mit dSPACE ControlDesk. So konnten Auswirkungen verschiedener Verhaltensweisen und ihre Einflüsse auf die Energieeffizienz ausgiebig überprüft und die Auswirkungen auf das Gesamtsystem „Mini-Smart-Haus“ simuliert werden. Bei Bedarf ließen sich die Regelalgorithmen schnell und einfach anpassen, um neue Erkenntnisse zu berücksichtigen.

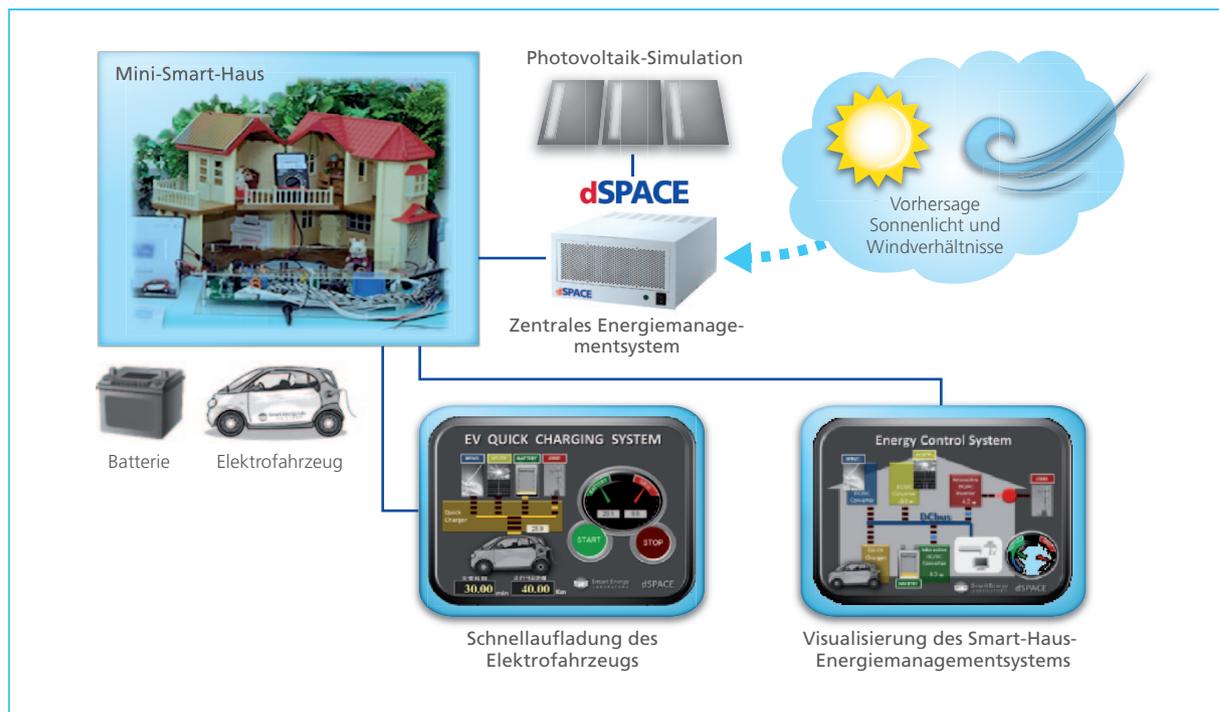
### Smart-Haus in Originalgröße

Die Erfahrungen aus der Steuerung des Mini-Smart-Hauses wurden anschließend auf ein echtes Haus übertragen. Der komplette Aufbau wurde in Fukuoka realisiert (Abbildung 2) und im April 2012 eröffnet. Herzstück ist die Dauerausstellung mit neuesten Technologien im Bereich Smart-Haus und dessen Energiesteuerung. Zu sehen sind Geräte und Technologien aus dem Pilotprojekt, die entweder das Ergebnis individueller Forschung sind oder von kooperierenden Firmen, Bildungseinrichtungen und anderen Organisationen mitentwickelt wurden.

### Smart-Haus-Technologiekonzept

Die Energie wird mit einer Photovoltaik- und einer Windkraftanlage erzeugt. Für die Speicherung steht ein stationärer Lithium-Ionen-Akku

Abbildung 4: Schematischer Aufbau des Mini-Smart-Haus-Modells.



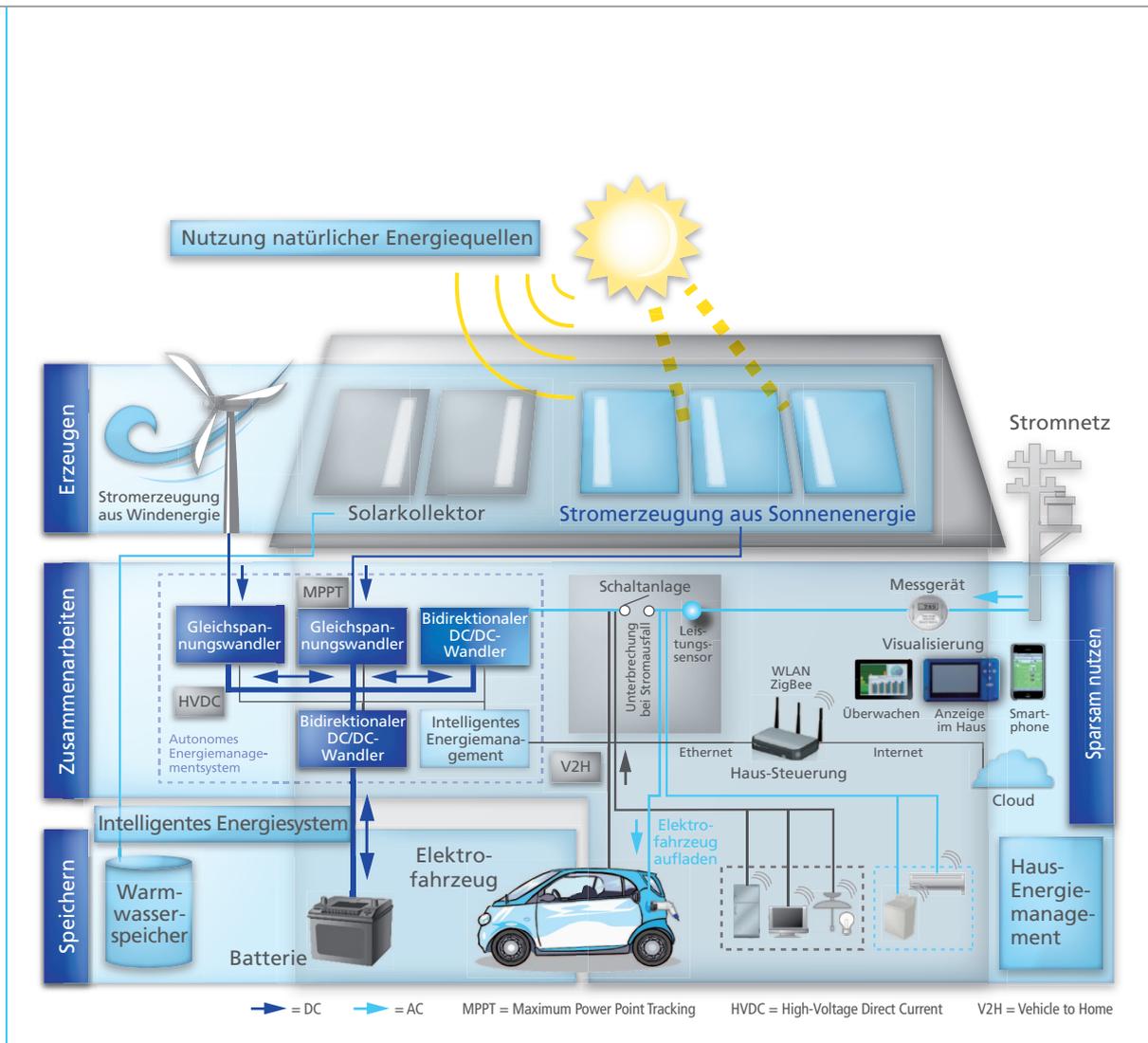


Abbildung 5: Umsetzung des Mini-Smart-Haus-Konzepts in ein reales Gebäude.

zur Verfügung, der während energiereicher Phasen aufgeladen wird. Gleiches gilt für den Warmwasserspeicher und die Batterie des Elektrofahrzeugs. Des Weiteren ist ein Anschluss an das öffentliche Stromnetz vorhanden (Abbildung 5). Die zentrale Steuereinheit ist auch hier Kernstück der Anlage, in der alle Informationen für die Auswertung zusammenfließen. Da große Batterien sehr teuer sind, ist die effiziente Energieverwaltung und Verbrauchsabstimmung besonders wichtig. Weil Wettervorhersagen nur eine grobe Schätzung des voraussichtlichen Energieertrages durch regenerative Energieerzeugung erlauben, muss eine flexible Anpassung möglich sein. Gleichzeitig gilt es, die eingeschränkte Verfügbarkeit zu

berücksichtigen, denn Sonnenenergie fällt nur tagsüber an, wohingegen Windenergie in den Herbst- und Wintermonaten reichlich zur Verfügung steht. Ein sinnvolles Energiemanagement verschiebt zeitlich unkritische Aktionen, wie das Aufladen des Elektrofahrzeugs oder das Einschalten der Waschmaschine, in ertragreiche Zeiten.

#### Zugriff per WLAN

Per Smartphone oder Tablet kann über WLAN auf die zentrale Steuereinheit des Smart-Hauses zugegriffen werden, so dass die Bewohner den aktuellen Status und Verbrauchswerte abrufen, Änderungen vornehmen oder sich über einen Stromausfall informieren lassen können.

#### Fazit

Die bisherigen Experimente und Erfahrungen mit der Energieverwaltung eines Smart-Hauses haben sich als äußerst vielversprechend herausgestellt. Zudem hat sich die modellbasierte Entwicklung für den Entwurf effizienter Smart-Konzepte bewährt. dSPACE wird die Forschung im Bereich der Energiemanagementtechnologien im Rahmen von Pilotprojekten weiterhin aktiv vorantreiben. ■