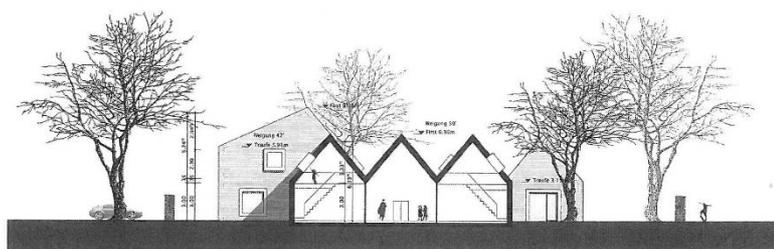


## **Bewilligungsempfänger:**

Stadt Haren – FB3: Bauen, Planung und Liegenschaften  
Neuer Markt 1  
49733 Haren (Ems)

# **„Neubau einer Kindertagesstätte als Energiepuffer für regenerative Energien“**



## **Endbericht**

### **Ergebnisse der Evaluation**

über ein Forschungsprojekt, gefördert unter dem Az 30466 von  
der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Projektgesamtkosten: 190.281,47 €

Beantragter Fördermittelanteil: Industrielle Forschung 50 v. H.

Projektlaufzeit: 2012-2015

## **Kooperationspartner und Verfasser:**

Universiteit Twente, öffentlich rechtliche Organisation  
P.O. Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands  
Prof. Dr. Johann Hurink

Unterstützend:

RWE Effizienz GmbH, Flamingoweg 1, 44139 Dortmund  
Herr Roland Hübner

RWE Deutschland AG, Kruppstr. 5, 45128 Essen  
Herr Stefan Willing

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>30466</b>	Referat	<b>25</b>	Fördersumme	<b>92.336,- €</b>
----	--------------	---------	-----------	-------------	-------------------

**Antragstitel** **Neubau einer Kindertagesstätte als Energiepuffer für regenerative Energien**

**Stichworte** Home Energy Controller, Smart Grids

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>3 Jahre</b>	<b>02.07.2012</b>	<b>02.07.2015</b>	<b>2</b>

Zwischenberichte	07/2013 12/2014
------------------	--------------------

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Stadt Haren (Ems) – Fachbereich 3 Neuer Markt 1 49733 Haren (Ems)	Tel	05932-8-310
		Fax	05932-8-299
		Projektleitung Manuel Deeters Dipl.-Ing. Architekt	

**Kooperationspartner** Universiteit Twente, öffentlich rechtliche Organisation  
P.O. Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands  
Prof. Dr. Johann Hurink  
Unterstützend:  
RWE Effizienz GmbH, Flamingoweg 1, 44139 Dortmund  
Herr Roland Hübner  
RWE Deutschland AG, Kruppstr. 5, 45128 Essen  
Herr Stefan Willing

### **Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

1. Einbau und Erprobung einer interaktiven Steuerungstechnik (Home Energy Controller), die gebäudespezifische Aspekte sowie die Verbrauchs- und Einspeiseprofile berücksichtigt und energieoptimiert verwaltet
2. Untersuchung und Optimierung der Abschaltdauer und -häufigkeit von elektrischen Verbrauchern, wie z. B. der Wärmepumpe im Gebäude vom Stromnetz bei (regionalen) Einspeiserückgängen sowie erhöhte Energieabnahme bei Einspeisungsspitzen (Ziel: Entlastung des Betreiber-Stromnetzes)
3. Nutzung der Kindertagesstätte als Multiplikator für zukunftsfähige, alternative Energiekonzepte und zur allgemeinen Wissensverbreitung

Im Ergebnis sollen allgemein gültige Planungsreferenzen (Leitfaden) für die Erstellung und den Betrieb von öffentlichen Gebäuden mittels interaktiver Steuerungssysteme und Speichermedien entwickelt werden.

Auch ist als Ziel ein sowohl wirtschaftlicherer als auch umweltschonenderer Betrieb durch intelligente Steuerungsmechanismen avisiert (Maximierung der Eigennutzung von überproduzierter Energie bei gleichzeitiger Minimierung von Fremdbezug z. B. aus dem öffentlichen Stromnetz).

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

#### **Projektphase 1:**

Im ersten Projektteil soll im Rahmen einer integralen Planung (unter Einbeziehung von Gebäudesimulationen) die Projektplanung und Umsetzung erfolgen. Insbesondere sind hier die Ansätze Energiespeicherung, Intelligente Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Kostenniveau zu definieren. Des Weiteren werden in dieser Phase die Parameter festgelegt, die zur späteren Übertragbarkeit des Projektes führen. Dieser Projektteil ist avisiert für den Zeitraum 02.07.2012 - 02.07.2013.

### **Projektphase 2:**

Im zweiten Teil sollen zuerst die haustechnischen Elemente zur Durchführung des Projektes eingebaut werden (Sole-Wasser Wärmepumpe, elektrischer Batteriespeicher, Smart-Meter-Elemente, Photovoltaik etc.). Danach sollen die Steuerung und Datenerhebung in der Gebäudeleittechnik erweitert werden (als Grundlage für das nachgeschaltete Evaluationsverfahren im Bereich intelligente Steuerung und Gebäudezustandsanalyse). Verschiedene haustechnische Geräte sollen eingebunden werden (z. B. Waschmaschine, Trockner, Wärmepumpe, Batteriespeicher etc.). Geplant sind ferner die Installation einer Stromschnellladestation und der Betrieb selbiger mit einem Elektroauto. Darüber hinaus soll die Projektvisualisierung in Form einer Anzeigetafel im zentralen Foyer erweitert werden.

Danach folgt die Evaluation in der Nutzung über mindestens 2 Jahre.  
Dieser Projektteil ist avisiert für den Zeitraum vom 02.07.2013 - 02.07.2015.

### ***Ergebnisse und Diskussion***

Im Zuge des Neubaus einer Kindertagesstätte im Ortsteil „Erika“ in der Stadt Haren (Ems) wird untersucht, inwiefern kommunale Gebäude zur Verstetigung und Umwandlung von unregelmäßig einspeisendem, regenerativem Strom genutzt werden können, so dass eine Entlastung der versorgerseitigen Verteilnetze erreicht wird.

Der innerhalb des Projektes entwickelte Home Energy Controller (HEC) wird in Verbindung mit einer übergeordneten künstlichen Intelligenz des Smart Operators (SmOp) im Rahmen des „Smart Operator“ Projektes von RWE eingesetzt, um Netzschwankungen zu stabilisieren. Das System läuft stabil und zuverlässig, Spannungsschwankungen und Stromflüsse werden ausgeregelt und über 30 Prozent des überschüssigen Solarstroms durch Speicherung und Lastverschiebung wird vor Ort genutzt.

Die ersten Ergebnisse hier zeigen, dass ein Potential vorhanden ist, dass aber noch weitere Entwicklungen nötig sind, um dieses Potential weitergehender zu nutzen.

Speziell in der Kindertagesstätte sieht man, dass es tendenziell innerhalb von öffentlichen Gebäuden schwierig ist, Flexibilität bereitzustellen bzw. diese stark nutzungsabhängig ist (z.B. häufiger Waschbedarf zu ungünstigen Zeiten).

Weiterhin zeigt sich, dass die Planung und Auslegung der einzubauenden Anlagenkomponenten (Heizung, PV, Haustechnikgeräte etc.) im Kontext mit den baulichen Gegebenheiten (Wärmedämmung, Ausrichtung Gebäude, Fensterflächen) besondere Wichtigkeit und großen Einfluss auf die zu erreichenden optimalen Lastzustände haben.

Erst im Zusammenspiel von richtiger Auswahl der Anlagenkomponenten (z.B. Schnittstellenfähigkeit) sowie richtiger Dimensionierung (z.B. Größe Batteriespeicher, PV-Anlage) in Verbindung mit den baulichen Gegebenheiten und des Nutzerverhaltens bzw. generell der Nutzungsart des Gebäudes kann ein Optimum an Flexibilität und damit ein wichtiger Beitrag zur Netzentlastung geschaffen werden. Hierfür besteht auch für die Zukunft noch weitreichender Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

### **Projektbeteiligte**

1. Das Projekt wurde auf der Konferenz „CIREC-Electricity Distribution Systems for a Sustainable Future“ in Stockholm (10-13 Juni 2013) vorgestellt.
2. Im Rahmen einer Vortragsserie des Architekturforums Nordhorn wurde am 13.06.2013 das Projekt der Kindertagesstätte in Haren vorgestellt. (siehe auch <http://www.nordhorn.de/magazin/artikel.php?artikel=877&menuid=45>). Der Architekt Ralf Wömpner vom Architektenbüro hartwig|wömpner architekten BDA aus Münster stellte das Gebäude der Kindertagesstätte und seine energetische Bauweise vor und Prof. Dr. Johann Hurink von der Universität Twente in Enschede stellte in einem Vortrag mit dem Thema „Welche Gebäude benötigt die Energiewende“ das Konzept eines dezentralen Energiemanagements am Beispiel der Kindertagesstätte Haren vor.
3. Das Projekt der Kindertagesstätte wurde des Weiteren in einigen Übersichtsvorträgen von Prof. Dr. Johann Hurink auf Tagungen und anderen Veranstaltungen als ein Praxisbeispiel für den Einsatz eines Home Energy Controllers aufgenommen:
  - „Smart Grids – Math inside?“; 3TU Conference; Eindhoven, The Netherlands; 6 Dezember 2013.
  - „Without Smart control no sustainable energy supply“; An Innovative Truth VI - Congres: Duurzaamheid, Sleutel tot success; Kasteel de Haar Haarzuilens, The Netherlands; 10 juni 2014.
  - „Smart Grids“; Studium Generale: Het podium voor kennis; Enschede, The Netherlands; 17 März 2015.
  - „Scheduling for Decentralized Energy Management“; MISTA 2015; Prag, Tschechien; 27 August 2015.
4. Der im Projekt Kita Haren entwickelte Baustein „HEC“ wurde in mehreren Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes Smart Operator publiziert. U. a. auf folgenden Veranstaltungen:
  - Smart Operator - RWE Deutschland realisiert das intelligente Stromnetz in der Niederspannung; 15. Jahrestagung Mess- und Zählwesen 2015 in Düsseldorf, 28.02.2015
  - Smart Operator – RWE realisiert das intelligente Stromnetz in der Niederspannung; 6. Fachtagung Energie, Schaltanlagen und Netzstationen für die Energieverteilung, Karlsruhe, 11.11.2015 bis 12.11.2015
  - Zwischenbilanz im bundesweit einmaligen Smart-Operator-Projekt „Smart Operator“ in der Wertachau, 09.12.2015, Fernsehbeitrag BR
  - Intelligenz für das Netz vor Ort – Smart Operator; FNN-Fachkongress "Netztechnik", Nürnberg, 02.12.2015
  - Smart Operator Intelligenz für das Netz vor Ort; RWE Deutschland Hochschuldialog, 26.10.2015 in Essen

### **Stadt Haren (Ems):**

1. Radio-Beitrag RWE vom 31.08.2012 beim Sender „Ems-Vechte-Welle“
2. Radio-Interview mit Stadtbaurat Thimo Weitemeier vom 12.06.2013 beim Sender „NDR“
3. Eine Broschüre wurde von der Stadt Haren (Ems) in Zusammenarbeit mit den Planungsbeteiligten entwickelt und gedruckt in einer Auflage von 500 Exemplaren zwecks Auslage am Kita-Eröffnungstermin am 03.12.2013
4. Offizielle Einweihung des Neubaus der Marien-Kita am 03.12.2013
  - Teilnahme zahlreicher Medienvertreter
  - Versand Medieninformation „Einweihung der Marien-Kindertagesstätte“
  - Sonderveröffentlichung in der Meppener Tagespost
  - Zeitungsbericht „Energiewende in der Hightech-Kita“ in den Grafschafter Nachrichten
5. Veröffentlichung des Artikels „Blackout“ Seite 50 ff. in der Zeitschrift „Capital“, Ausgabe 02/2014 (Text: Thomas Steinmann und Jacob Schlandt; Fotos: Werner Amann)
6. Einbindung eines Elektroautos in Forschungsprojekt am 14.11.2014
  - Medieninformation „Kita Haren klimaschonend unterwegs“
7. Ein Jahr Forschungsprojekt Marien-Kita am 08.12.2014
  - Pressegespräche vor Ort
  - Gemeinsame Presseinformationen RWE und Stadt Haren (Ems)
  - Pressebericht „Energiewende in der Kindertagesstätte“ in der Meppener Tagespost vom 09.12.2014
  - Pressekommentar „Ein großes Vorhaben“ in der NOZ vom 09.12.2014
  - Sonderausgabe „smarte Seiten“ Winter 2014, Seiten 4+5 der RWE

## **Fazit**

Die gesetzten Ziele wurden erreicht, eine intelligente Steuerungseinheit (HEC) wurde entwickelt, eingebaut und erprobt. Die Verlagerung bzw. der Abbau von Lastspitzen und somit ein wichtiger Beitrag zur Entlastung von Betreiberstromnetzen wird erreicht. Für die Nutzungsart als Kindertagesstätte sowie voraussichtlich eine hohe Bandbreite an öffentlichen Gebäuden besteht gerade hier im Zusammenspiel von Nutzung, baulichen Gegebenheiten sowie Anlagentechnik noch hohes Optimierungspotential.

Durch weitreichende öffentliche Darstellung und Kommunikation des Vorhabens sowie der Ergebnisse dient das Projekt „Kita Haren“ überregional als wichtiger Baustein für neuartige ressourcenschonende Energiekonzepte.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	8
Tabellenverzeichnis .....	8
Zusammenfassung .....	9
1 Einleitung .....	10
2 Hauptteil.....	13
2.1 Neubau einer fünfzügigen Kindertagesstätte im Harener Ortsteil Erika/Altenberge; Schaffung der baulichen Voraussetzungen	13
2.1.1 Entwurf Gebäude und Freiraum .....	13
2.1.2 Funktion und Nutzung .....	14
2.1.3 Material und Gestaltung .....	15
2.1.4 Haustechnisches und energetisches Konzept .....	15
2.2 Konzept und Implementation des Home Energy Controller	16
2.2.1 Einbettung des Home Energy Controllers in den Smart Operator .....	17
2.2.2 Grundlegende Idee der Optimierung im Home Energy Manager (HEM) .....	19
2.2.3 Preisvektoren .....	20
2.2.4 Planungen .....	21
2.2.5 Real Time Control (RTC).....	24
2.2.6 Smart Home Geräte eingebunden im HEM .....	24
2.2.7 Ein erläuterndes Beispiel.....	29
2.3 Diskussion der Ergebnisse	32
2.3.1 Integration der Geräte in den Home Energy Controller.....	32
2.3.2 Einbeziehung der Nutzer in das Konzept .....	34
2.3.3 Potential des Home Energy Controllers .....	35
2.4 Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung	39
2.4.1 Umweltrelevanz .....	39
2.4.2 Innovationspotential.....	40
2.5 Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse	46
2.5.1 Präsentation in der Kindertagesstätte .....	46
2.5.2 Vorträge und Publikationen .....	47
3 Fazit.....	50
Literaturverzeichnis .....	52

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Lageplan "Kindertagesstätte Erika" mit Darstellung der Außenanlagen  
Abbildung 2: Grundriss Erdgeschoss  
Abbildung 3: Innenraumfoto Foyer  
Abbildung 4: Außenfoto der Kindertagesstätte  
Abbildung 5: Strangschema des Heizungssystems mit Einbindung der Photovoltaik, der haustechnischen Geräte und der intelligenten Steuerungsmechanismen  
Abbildung 6: Schematische Darstellung der intelligenten Steuerungsmethodik mit Integration der Kindertagesstätte  
Abbildung 7: Windows basierter Embedded Computer für den HEM  
Abbildung 8: Allgemeiner Überblick über die Komponenten des Gesamtsystems  
Abbildung 9: Grundlegende Struktur von Triana  
Abbildung 10: Der Ablauf bei der Auswahl einer Planung  
Abbildung 11: Prognostiziertes Leistungsprofile der Basislast  
Abbildung 12: Prognostizierte Erzeugungskurve der PV-Installation  
Abbildung 13: Einplanung der Waschmaschine in der 1. Iteration  
Abbildung 14: Gesamtprofile nach der 1. Iteration  
Abbildung 15: Untere und obere Grenze um das gewünschte (flache) Profil  
Abbildung 16: Angepasstes Preisprofil nach der 1. Iteration  
Abbildung 17: Einplanung der Waschmaschine in der 2. Iteration  
Abbildung 18: Gesamtprofile nach der 1. und 2. Iteration  
Abbildung 19: Prognostizierte und tatsächliche PV Erzeugung  
Abbildung 20: Gegenüberstellung PV Produktion und Energieverbrauch in der Kindertagesstätte, kein Einsatz der Batterie  
Abbildung 21: Aufteilung des Gesamtelektrizitätsverbrauchs der Kindertagesstätte (29.05.2015)  
Abbildung 22: Lichtverhältnisse in einem Gruppenraum der Kindertagesstätte  
Abbildung 23: Schematische Darstellung des Wirkungsprinzips eines Pumpspeicherkraftwerks  
Abbildung 24: Schematische Darstellung der intelligenten Steuerungstechnik im übergeordneten Netz mittels "Smart Operator"  
Abbildung 25: Smart Operator - Ein Konzept für die hierarchische Niederspannungsnetzführung  
Abbildung 26: Netzoptimierung durch Nutzung von flexibel steuerbaren Haushaltsgeräten

## Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Verbrauchsprofil der Waschmaschine  
Tabelle 2: Elektrizitätsverbrauch der Kindertagesstätte Haren

## Zusammenfassung

Im Zuge eines Neubaus einer Kindertagesstätte in Haren-Erika wurde untersucht, inwiefern kommunale Gebäude zur Verstärkung und Umwandlung von unregelmäßig einspeisendem, regenerativem Strom genutzt werden können, so dass eine Entlastung der versorgerseitigen Verteilnetze erreicht wird.

Der innerhalb des Projektes entwickelte Home Energy Controller (HEC) wird in Verbindung mit einer übergeordneten künstlichen Intelligenz des Smart Operators (SmOp) im Rahmen des „Smart Operator“ Projektes von RWE eingesetzt, um Netzschwankungen zu stabilisieren. Das System läuft stabil und zuverlässig, Spannungsschwankungen und Stromflüsse werden ausgeregelt und über 30 Prozent des überschüssigen Solarstroms durch Speicherung und Lastverschiebung vor Ort genutzt.

Die ersten Ergebnisse hier zeigen, dass ein Potential vorhanden ist, dass aber noch weitere Entwicklungen nötig sind, um dieses Potential weitergehender zu nutzen.

Speziell in der Kindertagesstätte sieht man, dass es tendenziell innerhalb von öffentlichen Gebäuden schwierig ist, Flexibilität bereitzustellen bzw. diese stark nutzungsabhängig ist (z. B. häufiger Waschbedarf zu ungünstigen Zeiten).

Weiterhin zeigt sich, dass die Planung und Auslegung der einzubauenden Anlagenkomponenten (Heizung, PV, Haustechnikgeräte etc.) im Kontext mit den baulichen Gegebenheiten (Wärmedämmung, Ausrichtung Gebäude, Fensterflächen) besondere Wichtigkeit und großen Einfluss auf die zu erreichenden optimalen Lastzustände haben.

Erst im Zusammenspiel von richtiger Auswahl der Anlagenkomponenten (z. B. Schnittstellenfähigkeit) sowie richtiger Dimensionierung (z. B. Größe Batteriespeicher, PV-Anlage) in Verbindung mit den baulichen Gegebenheiten und des Nutzerverhaltens bzw. generell der Nutzungsart des Gebäudes kann ein Optimum an Flexibilität und damit ein wichtiger Beitrag zur Netzentlastung geschaffen werden. Hierfür besteht auch für die Zukunft noch weitreichender Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

# 1 Einleitung

Die Stadt Haren (Ems) liegt an der Ems im Westen Niedersachsens innerhalb des Landkreises Emsland. Die im Stadtgebiet erzeugte regenerative elektrische Energie übersteigt bereits seit vielen Jahren den Strombedarf der Stadt Haren (Ems) mit rund 24.000 Einwohnern.

Im Zuge der Energiewende kommen immer mehr dezentrale Erzeuger wie z.B. Windkraft-, Biogas- oder Solaranlagen zum Einsatz, die Strom aus erneuerbaren Energien produzieren. Das bestehende Stromleitungsnetz ist aber nicht auf die Vielzahl dieser kleineren und oftmals mit unregelmäßiger Leistung einspeisenden Erzeuger ausgelegt. Als Konsequenz müssen entweder die Verteilnetze erheblich ausgebaut werden oder es geht regenerativ gewonnene Energie teilweise ungenutzt verloren. Dies gilt insbesondere in ländlichen Gebieten, wie auch im Stadtgebiet Haren (Ems). Viele dezentrale Einspeisungen sowie ein zu geringer Strombedarf erfordern neue Netz- und Nutzungskonzepte vor Ort.

Im Hinblick auf die zuvor dargestellte Problematik sollte in Haren (Ems) untersucht werden, wie die regenerativen Energieträger besser integriert werden können. Hierzu wurden in der Vergangenheit bereits verschiedene Projekte begonnen. So untersucht beispielsweise der Netzbetreiber RWE Deutschland AG in dem Projekt „Netze für die Stromversorgung der Zukunft“ Lösungsansätze zu einer effizienten Erfüllung der zukünftigen Stromversorgung im Harener Stadtgebiet (z. B. mittels einer Weitbereichsregelung als ein Bestandteil einer intelligenten Regelung im Netz im Kontext eines SmartGrid-Ansatzes). Auch die Speicherung von Strom soll genauer untersucht werden. Hierzu wurde im Regionalen Raumordnungsprogramm 2010 des Landkreises Emsland eine Fläche in Haren (Ems)/Fehndorf als Vorranggebiet zur Verstetigung und Speicherung von regenerativer Energie ausgewiesen. In diesem Gebiet sollen Windkraftanlagen mit verschiedenen Forschungsanlagen zur Speicherung der Windenergie kombiniert werden. Gleichzeitig soll ein Harener Gewerbegebiet an diese Anlage angebunden werden, um den Nachweis zu erbringen, dass eine 100%ige Versorgungssicherheit allein aus einem Windpark auch für Gewerbegebiete möglich ist.

In dieses Konzept fügt sich das Projekt „Neubau einer Kindertagesstätte als Energiepuffer für regenerative Energien“ ein, da sich auch der Gebäudebestand zur Verstetigung von unregelmäßig einspeisender, regenerativer Energie eignet und diese sogar unmittelbar nutzt. Es soll untersucht und evaluiert werden, wie mit einem trägen Niedertemperatursystem (auf Basis einer Geothermieanlage mit Fußbodenheizung), einem Warmwasserspeicher, einer PV-Anlage und einem Batteriesystem sowie einer intelligenten Steuerung, die auch die weiteren Verbrauchsgeräte einschließt, die Stromabnahme vermehrt dann erfolgen kann, wenn viel regenerative, regionale Energie zur Verfügung steht. Der Stromverbrauch soll dabei möglichst effizient gesteuert werden, so dass eine vermehrte Integration von erneuerbaren Energien möglich ist, ohne dass in der Kindertagesstätte Komforteinbußen zu verzeichnen sind. Hierzu wird u. a. auch eine neu zu installierende PV-Anlage mit Batteriespeicher einbezogen, sodass erneuerbare Energie lokal erzeugt, gespeichert und verbraucht wird und gleichzeitig übergeordnete Ziele (z. B. als Beitrag zur Versorgungssicherheit in übergeordneten Netzen) verfolgt werden können.

Die Installation und Programmierung einer zentralen Steuereinheit (Home Energie Controller HEC) am Hausanschluss ist dabei elementarer Bestandteil dieses Projektes. Dieser HEC soll dabei so gestaltet werden, dass eine spätere Einbindung in einen SmartGrid-Ansatz der RWE mittels intelligenter Mess-, Steuer- und Regeltechnik möglich ist, um auch versorgerseitig die Steuerungsmöglichkeiten im Zusammenspiel mit anderen Bausteinen im vorgelagerten Verteilnetz nutzen zu können und Netze möglichst effizient bei maximaler Integration erneuerbarer Energien auszulegen und zu betreiben.

Gemäß geltendem Gesetz (§ 14 a EnWG) können die Netzbetreiber auch heute schon Geothermieanlagen vom Netz nehmen, wobei die gewählte Steuerung für den Nutzer zumutbar sein muss und gemäß Gesetz diese „unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen, die über einen separaten Zählpunkt verfügen, zum Zweck der Netzentlastung“ abgeschaltet werden können. In der Praxis hat sich ein Ausschaltzeitraum von zwei Stunden einmal pro Tag oder dreimal täglich für eine Stunde etabliert. Der Wert wird vom Netzbetreiber festgelegt und basiert meist auf historischen Verbrauchsdaten. Die Wärmepumpen werden durch diese Steuerung mit verringerten Netznutzungsentgelten und dadurch mit einem geringeren Strompreis entschädigt. Allerdings erfolgt hier weder bei der Länge der Abschaltung, noch beim Zeitpunkt eine Interaktion mit den tatsächlichen Gebäudewerten oder Netzzuständen.

Für das Harener Stadtgebiet bedeutet dies (auf Grundlage früherer Verbrauchskennwerte) zum Beispiel, dass die vorhandenen Geothermieanlagen pauschal von 12.00 - 14.00 Uhr vom Netz genommen werden. Da die Abschaltung mittels automatischer Zeitschaltuhren erfolgt, geschieht dies auch, wenn beispielsweise aufgrund von starkem Wind oder starker Sonneneinstrahlung eine Einspeisespitze aus regenerativen Energien im Netz vorhanden ist, und somit aus netztechnischer und gesamtwirtschaftlicher Sicht ein lokaler Verbrauch erstrebenswert wäre.

Langfristiges Ziel ist daher die Einbindung einer interaktiven Haustechnik in die Netztechnik mittels Kommunikation, sodass bedarfsgerecht die Stromabnahme erhöht oder reduziert werden kann, ohne dass im Gebäude Komforteinbußen zu verzeichnen sind. Für diese Interaktion muss allerdings ein Home Energy Controller (HEC) entsprechend entwickelt und ausgelegt sein. Das Ziel ist es, zu gewährleisten, dass die Energieströme gemessen und Steuersignale zu den unterschiedlichen Verbrauchsgeräten (u. a. die Wärmepumpe) gesendet werden können. In einer Langfristperspektive können auch übergeordnete Ziele (z. B. minimale Einspeisespitze unter Berücksichtigung zuschaltbarer Lasten und damit minimaler Netzausbau für PV und Wind) und/oder lokale Ziele (z. B. Maximierung des Eigenverbrauches unter Einbeziehung der PV-Anlage, des Batteriespeichers und des Warmwasserspeichers) berücksichtigt werden. Der HEC muss in einem solchen SmartGrid-Ansatz mit einem sogenannten Smart Operator kommunizieren und diesem die Flexibilität im Haushalt mitteilen, die dieser dann zur Erreichung übergeordneter Ziele im Niederspannungsnetz (z. B. bessere Auslastung der Netzbetriebsmittel, sodass mehr dezentrale Energie angeschlossen werden kann) nutzen kann.

Um bei dieser interaktiven Haustechnik möglichst viele Aspekte und Steuerungsvarianten untersuchen zu können, sollen die Bausteine

- „normale“ Last der Kindertagesstätte (z. B. Beleuchtung, elektronische Geräte),
- elektrische Wärmepumpe inkl. Pufferspeicher,
- PV-Anlage,
- elektrischer Batteriespeicher,
- Ladesäule E-Car,
- Weiße Ware Geräte (Waschmaschine, Trockner, Spülmaschine),

gesteuert werden (HEC). Dieser HEC wird als Steuereinheit programmiert; dabei sollen aktuelle „Input-Daten“ wie Wettervorhersage, ggf. Spannung am Smart-Meter (Stromzähler, der neben dem Verbrauch auch Spannung am Anschluss misst und übertragen kann) einfließen. Zusätzlich soll mittels historischer Verbrauchs- und Gerätedaten ein „lernendes System“ entstehen, das mögliche Profile und Potenzial für einen zukünftigen Zeitraum vorher sagt. Hierdurch soll der Stromverbrauch der Kindertagesstätte immer wirtschaftlich optimiert erfolgen und eine Erschließung der Netzpotentiale erreicht werden.

Das Projekt verfolgt drei grundlegende Ziele:

1. Einbau und Erprobung einer interaktiven Steuerungstechnik (Home Energie Controller), die gebäudespezifische Aspekte sowie die Verbrauchs- und Einspeiseprofile berücksichtigt und energieoptimiert verwaltet
2. Untersuchung und Optimierung des Einsatzes von Verbrauchsgeräten unter Berücksichtigung von (regionalen) Einspeiserückgängen sowie erhöhte Energieabnahme bei Einspeisungsspitzen
3. Nutzung der Kindertagesstätte als Multiplikator für zukunftsfähige, alternative Energiekonzepte und zur allgemeinen Wissensverbreitung

Im Ergebnis sollen allgemein gültige Erkenntnisse für die Erstellung und den Betrieb von Energiemanagementsystemen in (öffentlichen) Gebäuden mittels interaktiver Steuerungssysteme und Speichermedien entwickelt werden.

Dies ist besonders deshalb relevant, da gerade eine Vielzahl von flexibel steuerbaren Gebäuden ein regionales Gleichgewicht zu den unregelmäßig einspeisenden, regenerativen Stromproduzenten darstellen könnte. Einer potentiellen Überlastung der Netzte könnte damit bereits „vor Ort“ entgegen gewirkt werden. Notwendige Zwangs-drosselungen von Wind- und PV-Anlagen (und die damit einhergehende Verschwendung von regenerativ erzeugter Energie) könnte so vermieden werden. Weiterhin ist mit einem geringeren Netzausbau durch die zeitvariable Stromentnahme im Netz zu rechnen.

Ferner soll auch das pädagogische Konzept integrativer Bestandteil des Projektes werden, da insbesondere die Realisierung von zukunftsfähigen Konzepten eine besondere Möglichkeit der pädagogischen Vermittlung bietet. Insbesondere die Sensibilisierung für die ganzheitliche Betrachtung unseres Energieversorgungssystems und die gesellschaftlichen Herausforderungen der Energiewende bedürfen der didaktischen Aufarbeitung und lassen sich anhand dieses konkreten Beispiels gut vermitteln. Wünschenswert wäre eine „direkte Ablesbarkeit“ des Umwelt-Nutzens sowie der wirtschaftlichen Einsparungen.

## 2 Hauptteil

Im Folgenden werden die einzelnen Projektergebnisse dargestellt. Hierbei wird zuerst ein Überblick über das erstellte Gebäude für die Kindertagesstätte und die darin enthaltenen für das Projekt relevanten technischen Geräte gegeben. Danach werden das Konzept und die Funktionsweise des Home Energy Controllers (HEC) dargestellt. Anschließend erfolgt eine Diskussion über die gewonnenen Erkenntnisse bei der Realisierung des HEC und der Integration des HEC in der Kindertagesstätte. Neben dieser technischen Diskussion wird in einem weiteren Abschnitt eine Darstellung von energiespezifischen Erkenntnissen in Bezug auf die Kindertagesstätte erfolgen. Abschließend wird ein Überblick über die Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse gegeben.

### 2.1 Neubau einer fünfzügigen Kindertagesstätte im Harener Ortsteil Erika/Altenberge; Schaffung der baulichen Voraussetzungen

Im August 2012 wurde mit dem Neubau der Kindertagesstätte begonnen, die Fertigstellung war ein Jahr später im August 2013.

#### 2.1.1 Entwurf Gebäude und Freiraum

Der grundlegende Entwurfsansatz wird in der Kommunikation mit dem Freiraum bzw. der harmonischen Einbindung des Neubaus in den vorhandenen, liebevoll gestalteten Garten gesehen. Diese Idee bestimmt die Grundform des Baukörpers. Aus der klaren Struktur und Gliederung entwickelt der Entwurf seine individuelle und spannungsreiche Reaktion auf die vorhandene Situation. Durch die lang gestreckten Dachflächen des Gebäudes wird die notwendige Eigenständigkeit als Solitär in Bezug auf das Umfeld ausdrucksstark betont, gleichzeitig wird den Vorgaben des Bebauungsplanes entsprochen. Der Eingangsbereich wird durch einen zweigeschossigen Bauteilflügel signifikant betont. Die zentrale Erschließung der Kindertagesstätte erfolgt wie im ursprünglichen Haus durch das Tor am Wiesenweg. Noch im Blickfeld des Haupteingangs liegt ein zweiter Eingang. Dieser ermöglicht eine eigenständige Erschließung des Krippenbereichs. Die Gliederung des Gebäudes ermöglicht eine intensive Verzahnung mit dem Außenbereich. Durch die Position auf dem Grundstück werden der vorhandene Baumbestand, die Hecken und die individuell

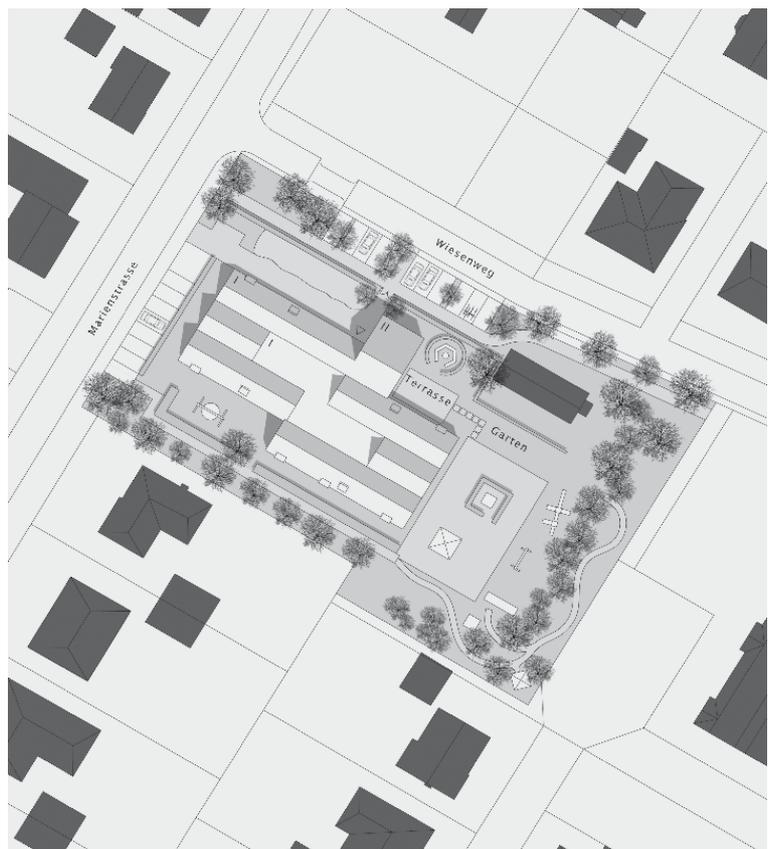


Abbildung 1: Lageplan "Kindertagesstätte Erika" mit Darstellung der Außenanlagen

Der Eingangsbereich wird durch einen zweigeschossigen Bauteilflügel signifikant betont. Die zentrale Erschließung der Kindertagesstätte erfolgt wie im ursprünglichen Haus durch das Tor am Wiesenweg. Noch im Blickfeld des Haupteingangs liegt ein zweiter Eingang. Dieser ermöglicht eine eigenständige Erschließung des Krippenbereichs. Die Gliederung des Gebäudes ermöglicht eine intensive Verzahnung mit dem Außenbereich. Durch die Position auf dem Grundstück werden der vorhandene Baumbestand, die Hecken und die individuell

gestalteten Bereiche geschützt.

### 2.1.2 Funktion und Nutzung

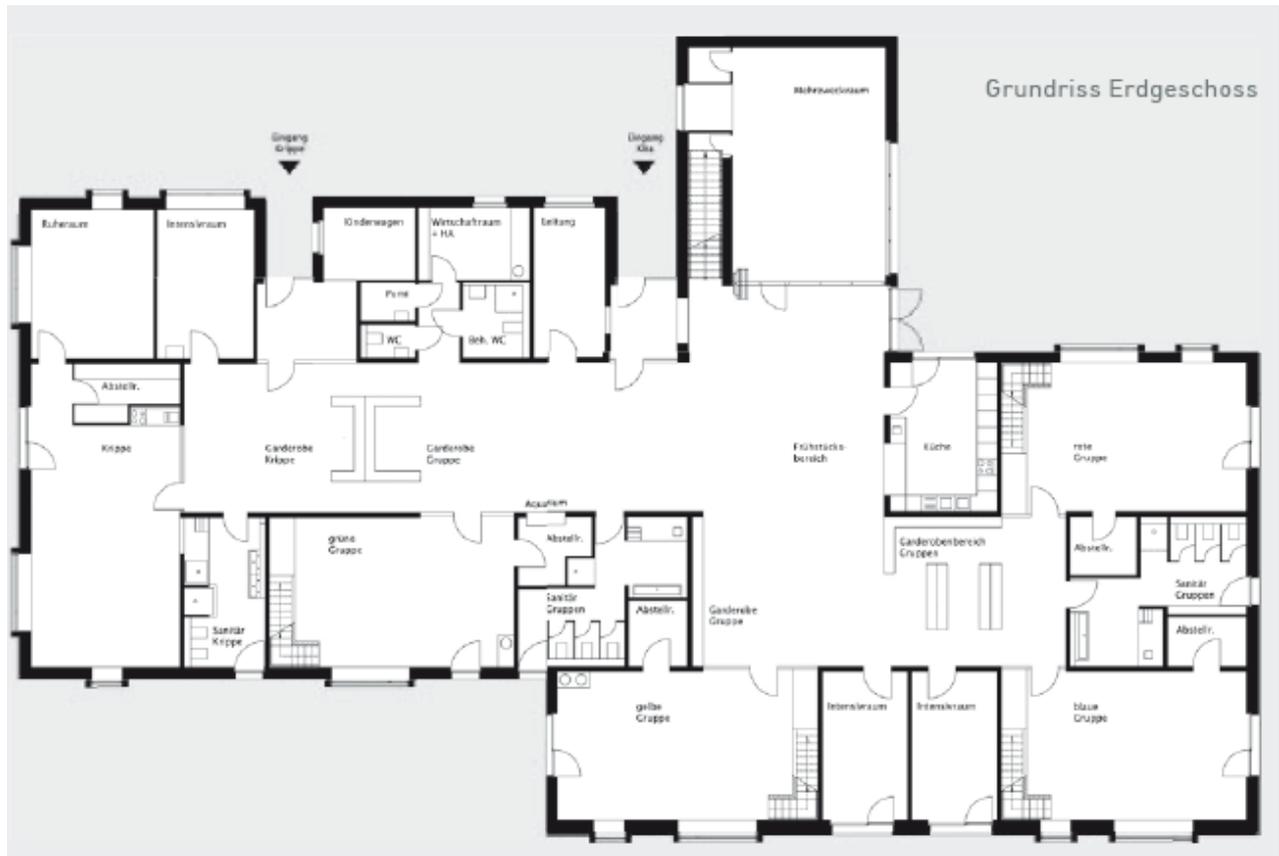


Abbildung 3: Grundriss Erdgeschoss

Das zentrale Foyer ist großzügiger Verteiler des Hauses. Hier findet Informationsaustausch zwischen Eltern und Erziehern statt. Der Bereich für das Frühstück und der Mehrzweckraum werden durch eine mobile Wand verbunden. Hierdurch entstehen weitere multifunktionale Nutzungsmöglichkeiten auch unter Einbeziehung der vorgelagerten Gartenterrasse; diese und der Garten sind direkt mit der Küche verbunden. Der Büro- raum für die Leitung ist als Anlaufstelle und Überwachung des Ein- gangs angeordnet. Im Dachgeschoss befinden sich weitere Mitarbeiter- räume. Eine Spielfläche erschließt die einzelnen Gruppen der Einrich- tung. Der Übergang von halböffentlich zu privat ist durch die einge- stellten Garderobenmöbel sensibel bedacht. Die Dreiecksflächen zwi- schen den geneigten Dächern und dem flachen Dach sind Oberlichter, welche die Vorzonen der Gruppenräume und den Frühstücksraum großzügig mit Tageslicht versorgen. Die Gruppenräume nutzen das Volumen bis in den First. Als Besonderheit wird über den Intensivräumen das Dach als Ga- lerie genutzt. Durch den Maßstabssprung in Größe und Höhe bietet diese Ebene als inte- griertes, nestähnliches „Baumhaus“ Möglichkeiten zum Klettern, Beobachten und Zurück- ziehen. Der Garten ist direkt über die Giebelseite der Gruppenräume oder über die Schmutz- schleuse vor den Sanitärbereichen zugänglich.



Abbildung 2: Innenraumfoto Foyer

### 2.1.3 Material und Gestaltung

Die Fassaden werden spannungsreich in offene und geschlossene Flächen gegliedert. Großzügige Fensterflächen verbinden erlebnisreich Innen- und Außenraum. Die Materialwahl für das Ensemble ist durch Natürlichkeit und Reduktion geprägt. Materialien und Farben der Kindertagesstätte sollen das Gebäude mit dem Garten verbinden und die Sinne der Kinder anregen. Glas, Holz und Ziegelstein werden entsprechend der Nutzung als Fassadenmaterial verwendet. Die Innenräume erhalten durch die geneigten Dachflächen und Oberlichter eine zusätzliche Spannung. Die Begrünung der ebenen Dachflächen ist bei einer Vegetationsschicht aus extensiver und intensiver Begrünung Ausgleichsmasse und dient der Verbesserung des Mikroklimas.



Abbildung 4: Außenfoto der Kindertagesstätte

### 2.1.4 Haustechnisches und energetisches Konzept

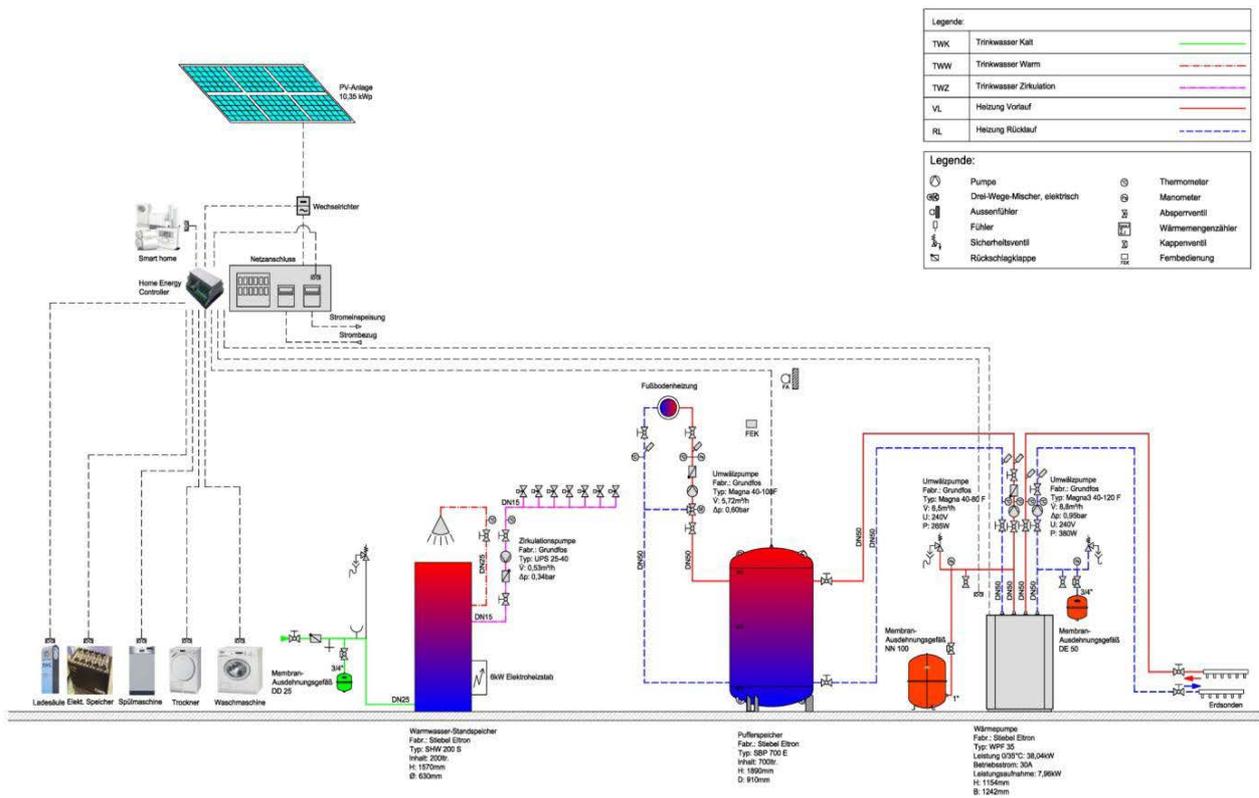


Abbildung 5: Strangschemata des Heizungssystems mit Einbindung der Photovoltaik, der haustechnischen Geräte und der intelligenten Steuerungsmechanismen

Bereits bei der Auslobung des Wettbewerbsverfahrens wurde dem energetischen und ökologischen Konzept ein besonderer Stellenwert beigemessen. Die Kindertagesstätte soll auf möglichst vielen Ebenen (Gestaltung, Material, Raumerleben, Energieeffizienz, Ökologie etc.) ihre Potentiale als Multiplikator und Lernort nutzen.

Hauptaugenmerk bei der Konzeption der haustechnischen Anlagen lag in der integralen Planung. Die Koordination der verschiedenen Speicher- und Verbrauchsmedien, wie Batteriespeicher, Warmwasserspeicher, Weiße Ware und Fußbodenheizung mit den unterschiedlichen Bauteilen des Energie- und Datennetzes erfordern ein fachgebietsübergreifendes Verständnis der Materie und die Entwicklung neuer Schnittstellen. Die ganzheitliche Betrachtung der Baumaßnahme (Raumkonditionierung und Aufenthaltsqualität, HSL-Technik, Elektro- und Datentechnik, Netztechnik) unter Einbeziehung des Energienetzes war zur Erreichung der Projektziele notwendig, da beispielsweise die Grenzen zwischen klassischer Sanitär- und Heizungstechnik und Datennetzwerken aufgehoben werden.

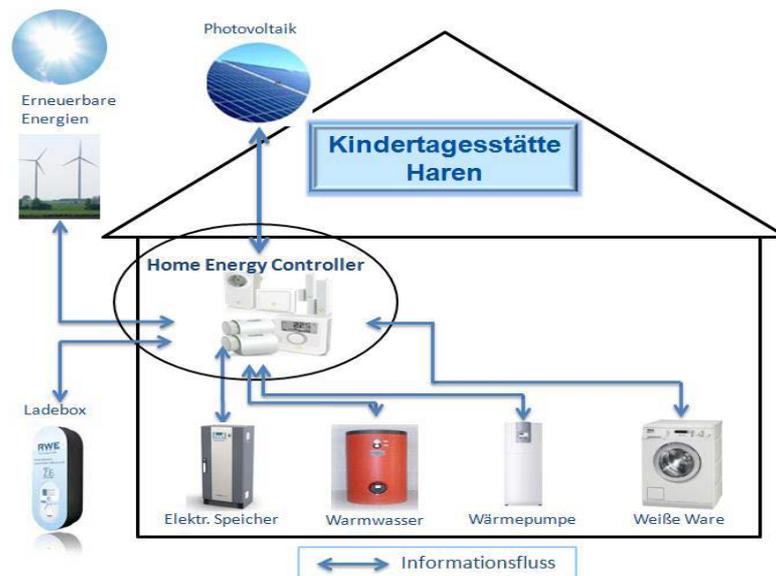


Abbildung 6: Schematische Darstellung der intelligenten Steuerungsmethodik mit Integration der Kindertagesstätte

Zur optimalen Nutzung des unregelmäßig anfallenden regenerativen regionalen Stromes wurde u. a. eine Wärmepumpenanlage in Verbindung mit einer Fußbodenheizung und gebäudeeigenen Speichermassen gewählt. Zusätzlich wird ein ausreichend dimensionierter Warmwasserspeicher (1.000 l) eingesetzt. Die regenerative Stromerzeugung erfolgt mittels dacheigener PV-Anlage (10,26 kWp) inkl. eines Batteriespeichersystems. Da ferner untersucht werden sollte, wie der Einsatz des Heizungssystems mit den Einspeisezeiten der PV-Anlage aber auch den Lastspitzen oder -tälern der weiteren Verbrauchsgeräte abgestimmt werden kann, wurden des Weiteren eine Ladesäule für E-Cars und jeweils eine Waschmaschine, Wäschetrockner und Spülmaschine der neusten Generation eingebaut. Die letzteren Geräte haben eine Schnittstelle mittels derer eine Ansteuerung dieser Geräte von außen erfolgen kann, wenn der Benutzer diese Option freigegeben hat („smart grid ready“).

## 2.2 Konzept und Implementation des Home Energy Controller

Die Steuerung und Optimierung des energetischen Konzeptes erfolgt durch einen Home Energy Controller (HEC). Die verwendeten Methoden und Algorithmen wurden hauptsächlich durch die Universität Twente entwickelt und erstellt. Die Universität Twente hatte im Zuge von Forschungsprojekten bereits Erfahrungen mit Kontroll- und Optimierungsmethoden für Energieflüsse in dezentralen Energiesystemen. Eine konkrete Realisierung dieser Konzepte in einem Echteinsetz hatte aber noch nicht stattgefunden. Für die Kommunikation

zwischen dem HEC und den jeweiligen Geräten wurde auf eine bestehende Lösung von RWE (Smart Home) zurückgegriffen. Diese ermöglichte bereits einen Teil der notwendigen technischen Kommunikation und wurde für einen anderen Teil der Geräte von RWE auf die Bedürfnisse des Projektes angepasst. Ferner wurde der HEC so konzipiert, dass er nicht nur die Energieflüsse innerhalb eines einzelnen Hauses optimieren kann, sondern bei Bedarf auch Bedürfnisse der lokalen Verteilnetze mit in die Planung einbeziehen kann. Hierzu wurde der HEC so konzipiert, dass er sich in das Energiewende Projekt „Smart Operator“ der RWE Deutschland einfügt.

Im Folgenden wird zuerst ein Überblick gegeben wie sich der HEC in das übergeordnete „Smart Operator“ Projekt integriert und welche Interaktion zwischen dem HEC und dem Smart Operator (SmOp) erfolgt. Danach wird der allgemeine Ansatz des HECs dargestellt und anschließend werden die verschiedenen Komponenten im Detail erläutert.

### **2.2.1 Einbettung des Home Energy Controllers in den Smart Operator**

Erneuerbare Ressourcen wie Wind und Sonne, spielen eine zunehmend wichtige Rolle bei der Energieerzeugung in vielen europäischen Ländern. Jedoch liefern z. B. Wind- und Solarparks nicht eine kontinuierliche und planbare Stromversorgung und können somit zu Instabilität im Stromnetz führen. Ferner wird die Energie immer mehr auch dezentral in den Haushalten erzeugt. In Deutschland geschieht dies zurzeit vor allem durch PV-Anlagen. Wird nun in einem Haushalt mehr Strom erzeugt als verbraucht, wird die Überproduktion zurück ins Verteilnetz gespeist. Auch dies kann zu Belastungen und starken Schwankungen im Netz führen. Da ein stabiles Stromnetz aber sehr wichtig ist, entsteht ein wachsender Bedarf nach Komponenten im Stromnetz, die in der Lage sind, auf die variable Stromproduktion zu reagieren. Hier spielen flexible und steuerbare Verbrauchsgeräte und Speichertechnologien eine wichtige Rolle. Um diese Komponenten allerdings in geeigneter Form nutzen zu können ist ein intelligentes und steuerbares Energienetz nötig. Dieses wird auch als „Smart Grid“ bezeichnet.

Innerhalb des Energiekonzerns RWE ist in diesem Zusammenhang das Projekt „Smart-Operator“ entwickelt worden. Der Smart Operator (SmOp) ist eine Schaltstelle zwischen den Haushalten einer Wohnsiedlung und dem örtlichen Verteilnetz. Er optimiert den Stromfluss und stabilisiert so das Netz. Dabei wertet der Smart Operator Daten innerhalb eines Ortsnetzbereiches kontinuierlich aus und errechnet daraus Prognosen zum Stromangebot und -bedarf. Auf Grundlage dieser Daten wählt der Smart Operator die passenden Schritte im Optimierungsprozess. Das können Signale an die Haushalte und/oder an die intelligenten Netzkomponenten sein.

Der HEC ist in dem vorliegenden Projekt so konzipiert worden, dass er innerhalb des SmOp Projektes der „Ansprechpartner“ für die Haushalte ist. Innerhalb des Haushaltes misst er die aktuelle Produktion und den Verbrauch von Energie und erzeugt auf Basis der aktuell zur Verfügung stehenden flexiblen Verbraucher einen Satz von möglichen Nutzerprofilen. Diese Profile werden dann an den SmOp gesendet, der dann die Informationen aus den einzelnen Haushalten kombiniert und daraus ein Gesamtprofil von Erzeugung und Verbrauch in dem jeweiligen Verteilnetz erstellt. Hierzu wählt er für jedes der Haus-

halte eines der gesendeten Nutzerprofile aus und legt fest, wie die intelligenten Netzkomponenten eingesetzt werden.

Der HEC ist nicht ein einzelnes Gerät, sondern besteht aus einer Zusammenführung von verschiedenen Komponenten:

- Smart Home Controller (SHC): Das SHC ist eine Komponente aus dem Smart Home Programm von RWE. Diese Komponente ist im Prinzip unabhängig vom SmOp und ermöglicht eine Ansteuerung von Smart Home Geräten sowie eine Kommunikation mit diesen. Die Smart-Home-Geräte, für die beim Beginn des Projektes eine Schnittstelle zum SHC vorhanden war, sind PV-Anlagen, Haushaltsgeräte von Miele, Batteriespeicher und ein Schalter. Mittels dieser Schnittstellen kann der SHC den aktiven Zustand eines Gerätes verändern (z. B. das Gerät ein- oder ausschalten), er wird aber auch über eine Zustandsänderung des Gerätes informiert. In der Basisanwendung ist der SHC mit einem Smart Home Portal verbunden. Dies ist ein Web-basierendes Portal, mittels dem der Benutzer die angeschlossenen Geräte konfigurieren und die historischen Daten zur Nutzung des Gerätes monitoren kann.
- Home Energy Manager (HEM): Der HEM ist eine Software Komponente, die auf einem „Embedded Computer“ läuft (siehe Abbildung 7) und sowohl mit dem SmOp als auch mit dem SHC kommuniziert. Hierbei werden mit dem SmOp Profile und Preisvektoren und mit dem SHC Updates und Steuerbefehle für die Smart Home Geräte ausgetauscht (nähere Informationen zu diesen Kommunikationen erfolgen später). Ferner enthält der HEM eine Datenbank auf der historische Daten, Profile und Prognosen abgelegt werden können.



*Abbildung 7: Windows basierter Embedded Computer für den HEM*

Der HEM enthält auch die entwickelten Methoden zur Steuerung und Optimierung der Verbrauchsgeräte. Sie basieren auf dem an der Universität Twente entwickelten dezentralen Energie Management Konzept TRIANA (siehe [Bak12], [Bos12], [Mol13]). Das Triana Modul kommuniziert via dem HEM mit dem SmOp, dem SHC und der Datenbank. Diese Kommunikationsschnittstelle wurde von RWE/IQuest implementiert.

Eine Übersicht über die Komponenten und deren Beziehungen ist in Abbildung 8 gegeben.

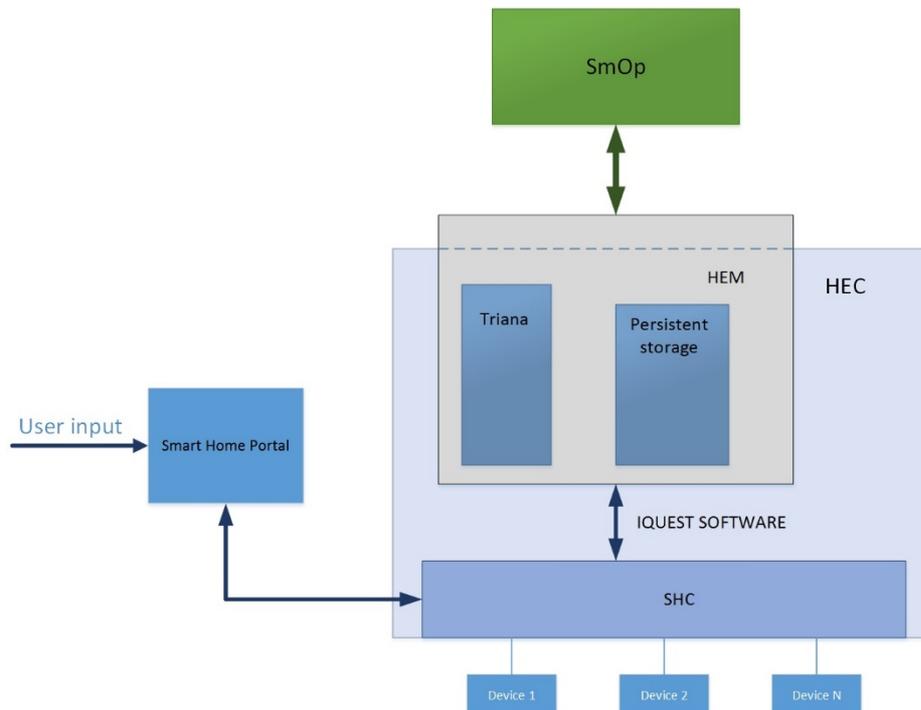


Abbildung 8: Allgemeiner Überblick über die Komponenten des Gesamtsystems

## 2.2.2 Grundlegende Idee der Optimierung im Home Energy Manager (HEM)

Im Folgenden wird ein Überblick über die Methoden zur Steuerung und Optimierung der Verbrauchsgeräte und des zugrunde liegenden Triana Konzepts gegeben. Die Basisidee von Triana ist es, einen Rahmen zu liefern, mit dem die Flexibilität von dezentralen Geräten in einem Energiesystem gesteuert werden kann, um das Verhalten des Gesamtsystems zu verbessern. Das Ziel von Triana ist es hierbei, lokale Flexibilität zu nutzen, um folgende Ziele zu erreichen:

- Bessere Energieeffizienz
- Große Penetration von erneuerbaren Energien
- Bessere Ausnutzung des vorhandenen Elektrizitätsnetzes und somit Verschieben von Investitionen.

Die von Triana gesteuerten Geräte können Energieerzeuger (z. B. PV-Paneele), Energieverbrauchsgeräte (z. B. Waschmaschinen), Energiekonverter (z. B. Wärmepumpen) oder Energiespeichergeräte (z. B. Batterien) sein. Bei der Steuerung können dabei sowohl lokale Ziele und Beschränkungen (z. B. auf Haus- bzw. Geräteebe) wie auch globale Ziele und Beschränkungen (z. B. auf lokaler Netzebene und auf Stadtebene) berücksichtigt werden. Dies wird ermöglicht durch den Aufbau einer hierarchischen Struktur entlang der physikalischen Layouts des Energiesystems. Auf diese Weise nutzt das Triana die vorhandene verteilte Rechenleistung und begrenzt die erforderliche Kommunikation im Netz. Die Grundidee ist hierbei, Probleme so lokal wie möglich zu lösen.

Triana verwendet hierbei drei wesentliche Schritte zur Steuerung der dezentralen Flexibilität der vorhandenen Geräte: Prognose, Planung und Real Time Control (RTC); siehe auch

Abbildung 9.

- Die Prognose wird verwendet, um weitere Informationen über die relevanten Umstände zu erhalten, in dem die Steuerung der Geräte zu erfolgen hat und wird auf Geräteebene durchgeführt. Dies können unter anderem Wettervorhersagen sein, die verwendet werden, um z. B. die PV-Produktion oder den Wärmeverbrauch in einem Haushalt vorherzusagen, oder Prognosen wie und wann Benutzer bestimmte Geräte wie z. B. die Waschmaschine benutzen oder aber auch die Prognosen der Gesamtenergieverbräuche aller nicht kontrollierbaren Geräte in einem Haushalt (die Grundlast des Hauses).
- Die Planung nutzt die Prognosen und die von den steuerbaren Geräten erhaltenen Informationen, um eine gute Planung aller steuerbaren Geräte für einen kommenden Zeitraum (meist für einen Tag) zu bestimmen. Hierbei werden unter Berücksichtigung der lokalen wie auch der globalen Einschränkungen sowohl die lokalen als auch die globalen Ziele zur Erstellung einer Planung verwendet. Bei der Umsetzung von Triana im SmOp werden Preisvektoren (siehe nächster Abschnitt) verwendet, um das Ziel der Planung festzulegen.
- Da Prognosen vom Wetter und Nutzerverhalten nie perfekt sind, ist als 3. Schritt ein Real Time Control (RTC) hinzugefügt, der die konkrete Ansteuerung der Geräte vornimmt. Hierbei wird die in dem zweiten Schritt erstellte Planung als Ausgangspunkt verwendet, aber lokale Veränderungen oder neu auftretende Ereignisse werden bei der Ausführung der Planung berücksichtigt.

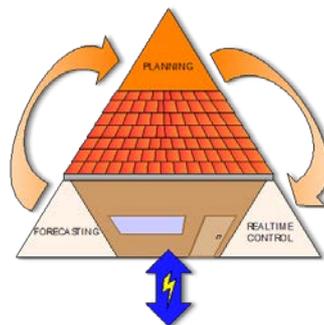


Abbildung 9: Grundlegende Struktur von Triana

### 2.2.3 Preisvektoren

Ein Preisvektor ist eine Liste von 96 Werten, die Preise für alle 15 Minutenintervalle der nächsten 24 Stunden wiedergibt. Diese sind nicht in einer konkreten Währung ausgedrückt und geben auch nicht an, wie viel für Elektrizität zu zahlen ist, sondern sind abstrakte Preise bzw. Werte, die als Steuersignal durch Triana verwendet werden. Die Bandbreite der Preise ist zwischen 0 und 1.000. Ein relativ hoher Preis in einem Zeitintervall bedeutet, dass der SmOp will, dass Triana den Stromverbrauch des Haushalts in diesem Intervall niedrig hält.

Zu bestimmten Zeiten oder bei bestimmten Ereignissen sendet der SmOp fünf verschiedene Preisprofile via den HEM an Triana. Hierbei ist eines dieser Profile (Nummer 5) "reserviert" für die lokale Optimierung. Die anderen Preisprofile nutzt der SmOp, um Planungen zu

erhalten, die in bestimmten Situationen im Verteilnetz genutzt werden können, um Probleme in diesem Netz zu vermeiden. Für jedes Preisprofil erzeugt Triana ein Leistungsprofil, auch Planung genannt. Wie diese Planungen erzeugt werden, wird im nächsten Abschnitt erläutert.

In der Kindertagesstätte in Haren wird der SmOp nicht aktiv eingesetzt und daher wird in der Kindertagesstätte immer nur das hausoptimierte Profil ausgeführt. Trotzdem werden in der Kindertagesstätte auch schon die anderen Profile mitgenommen, um den HEC zu testen und vorzubereiten auf den Einsatz innerhalb des SmOp. Auch können mit dieser gewählten Realisierung schon Erkenntnisse über den Nutzen der Optimierung für das Gesamtsystem gewonnen werden.

## 2.2.4 Planungen

Um vorherzusagen, wie sich die Geräte in der Zukunft verhalten werden, erzeugt Triana eine Planung, die ein Leistungsprofil über einen 24 Stunden Horizont darstellt. Eine solche Planung wird auf Basis der Information erzeugt, die von den Geräten bekannt sind und den Preisprofilen, die durch die SmOp gesendet werden. Dies impliziert, dass in dieser Realisierung von Triana die Prognose nicht ein eigener Schritt ist, aber dass die entsprechenden Informationen in den von den Geräten zur Verfügung gestellten Informationen enthalten sind.

Es gibt zwei verschiedene Planungsprinzipien. Die erste ist eine lokale Optimierung, die für das Preisprofil ausgeführt wird, das für die lokale Planung reserviert ist. Die zweite ist eine auf das Preisprofil abgestimmte Optimierung und wird für die anderen Preisprofile durchgeführt.

### - Lokale Optimierung

Für die lokale Optimierung wird mit einem flachen Preisprofil gearbeitet und somit gibt es keine Anreize vom SmOp, um Lasten zu verschieben. Auf diese Weise kann lokale Optimierung als „business as usual“ für den HEC angesehen werden und somit wird in dieser Situation für den Haushalt optimiert. In der gewählten Implementierung ist das Hauptziel des Haushalts, viel von der lokal erzeugten Energie auch lokal zu verbrauchen. Darüber hinaus haben wir eine soziale Komponente zu der lokalen Optimierung hinzuzufügen. Dieses Ziel ist es das Profil zu glätten. Um diese beiden Ziele zu erreichen, steuert Triana in Richtung eines konstanten Verbrauchsprofils. Hiermit wird indirekt auch der Export der lokal erzeugten Leistung minimiert. Die Planung für die einzelnen Geräte wird durch Triana ausgeführt und besteht aus den folgenden Schritten:

1. Alle Geräte erhalten ein flaches Preisprofil mit dem Standardpreis des Preisprofils für lokale Optimierung (auf 500 in der aktuellen Implementierung festgelegt).
2. Jedes Gerät verwendet eine eigene Vorgehensweise zur Profilgenerierung, siehe Abschnitt 2.2.6. Die resultierenden Leistungsprofile werden pro Gerät gespeichert. Darüber hinaus werden alle Leistungsprofile aufsummiert und das so erhaltene Gesamtleistungsprofil wird auch gespeichert.

3. Für das in Schritt 2 erhaltene Gesamtleistungsprofil wird der durchschnittliche Energiewert berechnet (Summe der Leistungswerte des Profils, dividiert durch 96). Ein flaches Profil mit diesem Durchschnittswert wird dann als das gewünschte Profil betrachtet. Über einen im System festzulegenden Parameter werden dann Ober- und Untergrenze für die Gesamtstromverbräuche in den Zeitintervallen berechnet. Dieser Parameter gibt somit an, in welchem Maße ein flaches Profil wünschenswert ist.
4. Für jedes Zeitintervall wird nun geprüft, ob die Gesamtleistung dieses Intervalls innerhalb der angegebenen Grenzen liegt. Wenn das nicht der Fall ist, wird der Preiswert dieses Intervalls für die (einen Teil der) Geräte angepasst, wobei bei einem Unterschreiten der Grenzen der Preis erniedrigt und bei einem Überschreiten der Preis erhöht wird. Der Grund, dass nicht für alle Geräte der Preis geändert wird ist, eine „Überreaktion“ des Systems zu vermeiden.
5. Wenn für die aktuelle Planung die Menge an Energie, die außerhalb der Grenzen liegt, kleiner ist als die bisher beste Planung, wird diese Planung und die dazugehörigen Planungen der Geräte als die beste Planung gespeichert.
6. Schritte 2 - 6 werden in einer gewissen Anzahl von Iterationen wiederholt.

Ein erläuterndes Beispiel für die lokale Optimierung wird in Abschnitt 2.2.7 gegeben.

- *Preisprofil gesteuerte Optimierung*

Erzeugen einer Planung in Triana bedeutet immer, dass für alle gegebenen Preisvektoren ein neues Leistungsprofil erzeugt werden muss. Für das Preisprofil 5, das für die lokale Optimierung reserviert ist, erfolgt diese Planung mit der im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Methode. Für die anderen vier Profile wird eine andere Planung verwendet. Bei diesen Profilen wird der Preisvektor an jedes Gerät gesendet und das Gerät verwendet für seine Planung neben diesem Preisvektor auch Prognosen und Informationen über den aktuellen Zustand des Gerätes, um die beste Einplanung des Gerätes zu bestimmen. Beispielsweise wird für eine Waschmaschine ermittelt, ob die Waschmaschine zur Einplanung zur Verfügung steht (d. h. gefüllt und Smart Start wurde gedrückt) und dann wird die kostengünstigste Zeit ermittelt, um die Waschmaschine zu starten.

- *Bewertung einer Planung*

Wenn der HEM innerhalb des SmOp benutzt wird, muss dem SmOp übermittelt werden, inwieweit die einzelnen Planungen für den Haushalt positiv oder negativ sind. Da die verwendeten Preisprofile keine wirkliche ökonomische Bedeutung für die privaten Haushalte haben (diese Preise müssen nicht bezahlt werden), sollten neben den Kosten für ein Leistungsprofil auch andere Kriterien herangezogen werden. Für die Haushalte sind Themen wie Selbstverbrauch und zu einem gewissen Ausmaß auch Abflachung der Profile wichtig. Deshalb wird zur Bewertung der Planungen ein Rating ermittelt. Triana zieht hierzu eine gewichtete Summe der folgenden Aspekte heran:

- Die Kosten für die im Profil angegebene Energie, mit den SmOp Preisen dieses Profils (niedriger ist besser)
  - Die Netto-Importe aus dem Netz (niedriger ist besser)
  - Die Glätte eines Profils (weniger ist besser)
- *Auswahl einer Planung*
- Der SmOp wählt unter Berücksichtigung der Ratings die für ihn beste Planung aus den von Triana erzeugten 5 Planungen aus. Der gesamte Prozess sieht also wie folgt aus (siehe auch Abbildung 10):
1. Triana empfängt die Preisprofile vom SmOp.
  2. Für jedes Preisprofil erzeugt Triana eine Planung auf der Grundlage des Preisprofils und Informationen von den Geräten und berechnet das zugehörige Rating.
  3. Die erzeugten Planungen zusammen mit den Ratings werden zurück zum SmOp gesendet.
  4. Der SmOp verarbeitet die Planungen, wählt eine Planung aus und sendet die Nummer des entsprechenden Preisprofils zurück an den HEM.
  5. Triana empfängt die Profilnummer und legt dieses Profil als die aktuelle Planung fest.

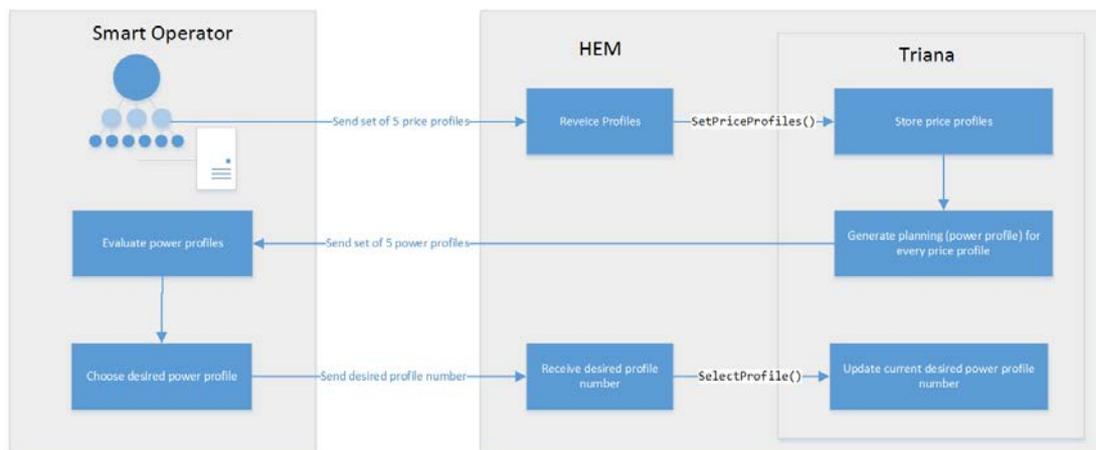


Abbildung 10: Der Ablauf bei der Auswahl einer Planung

- *Initiieren einer neuen Planung*
- Eine Neuberechnung von Planungen kann zum einen durch Aktionen des SmOp erfolgen. Dies ist der Fall, wenn
- der SmOp neue Preisprofile an den HEM schickt oder
  - der SmOp eine andere Planung auswählt; die Wahl der neuen Planung verändert im Allgemeinen für einige Geräte Entscheidungen, die dann auch in

den anderen Planungen berücksichtigt werden müssen und somit eine Neuberechnung erfordern.

Ferner ist der SmOp so ausgelegt, dass er immer 5 gültige Profile für die 5 Preisprofile benötigt. Um dies sicherzustellen, erzeugt Triana periodisch neue Leistungsprofile für alle Preisprofile und prüft, ob die aktuellen Profile des SmOp noch gültig sind. Als letztes löst auch eine Änderung der Konfiguration oder des Zustandes eines Gerätes eine Neuberechnung der Planungen aus.

### 2.2.5 Real Time Control (RTC)

Die RTC hat die Aufgabe, dafür zu sorgen, dass die ausgewählte Planung umgesetzt wird. Hierzu werden die Zustände der Geräte beobachtet und bei Bedarf wird der Zustand eines Gerätes geändert. Ziel des RTC ist es anhand dieser Informationen Entscheidungen zu treffen, mit denen die aktuelle Planung so nah wie möglich umgesetzt wird.

- *Auswerten und Aktualisieren des Status eines Geräts.*  
Die Kontrolle ist zum Teil event-driven, um auf externe Faktoren reagieren zu können. Neben Veränderungen in den Gerätezuständen, die durch Entscheidungen von Triana verursacht werden, können diese Zustände auch durch Handlungen der Bewohner (z.B. Ein- oder Ausschalten eines Gerätes) verändert werden. Solche externen Änderungen erfährt Triana über den Smart Home Controller (SHC). Nach einer solchen Zustandsänderung prüft das RTC für alle Geräte, was basierend auf der aktuellen Planung nach der Zustandsänderung für dieses Gerät der beste (neue) Zustand ist. Wenn Triana den Zustand eines Gerätes ändern möchte, wird diese Zustandsänderung dem SHC mitgeteilt, der dann physisch den Zustand dieses Gerätes ändert.

Wenn die Zustandsänderung eines Gerätes eine Abweichung von der aktuellen Planung verursacht, die größer ist als ein voreingestellter Schwellenwert, wird eine Neuplanung initiiert, wobei der Planungszeitraum aus den nächsten 24 Stunden ab dem aktuellen Zeitpunkt besteht.

- *Bestimmung des Gerätezustandes*  
Für jedes Gerät ist eine Planung gespeichert und jedes Gerät versucht, diese Planung so gut wie möglich zu befolgen. Abweichungen von Planungen sind z. B. möglich, weil der Gerätezustand es nicht erlaubt, seinen Zustand zu ändern (z. B. wenn der Ladezustand einer Batterie niedriger ist als bei der Planung erwartet, kann es sein, dass ein geplantes Entladen nicht erlaubt ist).

### 2.2.6 Smart Home Geräte eingebunden im HEM

In diesem Abschnitt werden die Geräte beschrieben, für die eine Einbindung in Triana realisiert wurde. Hierbei wird für jedes Gerät angegeben, welche Parameter zur Verfügung stehen, welche Funktionalität diese haben und wie sie sich auf das Verhalten des Gerätes auswirken.

- *Schalter*  
Der Schalter ist ein Aufsatz auf einer Steckdose, der in den SHC eingebunden ist.

Der Elektrizitätsverbrauch eines Schalters und seine Flexibilität hängen somit ab von dem jeweiligen Gerät, das über diesen Schalter angesteuert wird. Triana hat beim Schalter nur die Möglichkeit diesen „an“ oder „aus“ zu setzen. Hierbei müssen die Nebenbedingungen, die der Nutzer über den SHC eingeben kann, berücksichtigt werden. Diese sind:

- Operating Intervall: Triana kann den Schalter nur innerhalb dieses Zeitfensters steuern und das Zeitfenster ist durch eine Beginnzeit und eine Dauer festgelegt.
- Minimum Total On Time: Dies ist die minimal benötigte Zeit, die der Schalter innerhalb des festgelegten Zeitintervalls „an“ sein muss.
- Minimum Continuous On Time: Dies ist die minimale Zeit, die vergehen muss zwischen einem Anschalten und Ausschalten des Schalters.

Neben den Einschränkungen für den Einsatz des Schalters gibt der Nutzer ferner über den SHC ein, wie hoch der Standby-Verbrauch des am Schalter angeschlossenen Gerätes ist und wie hoch der durchschnittliche Verbrauch ist, wenn das Gerät eingeschaltet wird. In der Kindertagesstätte Haren wird der Schalter eingesetzt, um das E-Car zu laden.

- *Smart Meter*

Der Smart Meter ist zwar kein Gerät, das durch den HEM aktiv gesteuert werden kann, seine Einbindung ist aber von essentieller Bedeutung, da der Smart Meter wichtige Informationen über das Verhalten der nicht steuerbaren Geräte im Haushalt liefert. Der Smart Meter misst den Elektrizitätsverbrauch bzw. die Einspeisung am Hausanschluss und schickt diese Daten über den SHC zu Triana. Diese gemessenen Daten enthalten somit den Verbrauch der steuerbaren sowie der nicht steuerbaren Geräte. Da Triana die Energieverbräuche der steuerbaren Geräte kennt, kann Triana mit Hilfe des Smart Meters ein Leistungsprofil für die Gesamtheit der nicht steuerbaren Geräte ermitteln; dies wird innerhalb des HECs die Basislast genannt und stellt die Basislast des Haushaltes dar.

Bei der Erstellung von Planungen ist es wichtig, neben den Profilen für die steuerbaren Geräte auch eine Prognose für die nicht steuerbaren Geräte zu haben, also für die Basislast. Diese Prognose wird durch Triana auf Basis von historischen Daten erstellt, die in der auf dem HEC vorhandenen Datenbank gespeichert sind. Genauer, es werden die gespeicherten Leistungsprofile der Basislast derselben Periode eine Woche zurück, zwei Wochen zurück usw. herangezogen und es wird ein gewichtetes Mittel dieser Profile als Prognose bestimmt, wobei die Wochen weiter zurück ein geringeres Gewicht bekommen. Die Idee hinter diesem Ansatz ist es, dass der Wochentag das Verhalten der Bewohner eines Hauses in einem großen Maße beeinflusst und eine Prognose der Basislast hierauf basieren sollte. Die Gewichtung über mehrere Wochen soll extreme Ereignisse abmildern und die höheren Gewichte für die nähere Vergangenheit soll ein „Lernen“ von Verhaltensänderungen erleichtern.

- *PV-Anlage*

Eine PV-Anlage ist nur begrenzt steuerbar (curtailment) und in der derzeitigen Implementation wird diese Möglichkeit zur Abriegelung nicht berücksichtigt. Jedoch ist es für die Steuerung von anderen Geräten wichtig zu wissen, wann die PV-Anlage Strom produziert.

Bei der PV-Anlage wird als Konfigurationsparameter nur die Leistung der Anlage festgelegt. Im operativen Bereich wird die jeweilige Leistung übermittelt, die von der Anlage über den Inverter ins System eingespeist wird.

Um eine gute Planung für die steuerbaren Geräte vornehmen zu können, ist es wichtig eine Prognose des zu erwartenden Leistungsprofils der PV-Anlage zu haben, da es ja ein wichtiges Ziel des HEM ist, viel von der PV-erzeugten Energie im Haushalt selbst zu verbrauchen. Die wichtigste Einflussgröße für die erzeugte PV-Leistung ist die Solarintensität (SI). Für diese SI ist auf dem HEM eine Prognose vorhanden (ist Teil der Wettervorhersage, die der SmOp an den HEM sendet). Da die erzeugte Leistung in einem bestimmten Zeitintervall jedoch nicht bei jedem Haushalt gleich ist (verschiedene Ausrichtung der PV-Anlage, mögliche Schattenwürfe zu bestimmten Zeiten, ...), kann eine Umrechnung von SI zu erzeugter Leistung nicht mit einem globalen Modell erstellt werden, sondern muss für jeden Haushalt ein eigenes Berechnungsmodell erstellt werden. Dieses Berechnungsmodell wurde in Triana wie folgt realisiert:

- Es werden 12 Zeitintervalle von je 2 Stunden Länge erzeugt.
- Für jedes dieser Zeitintervalle werden aus der lokalen Datenbank des Haushaltes alle Paare von Messwerten der PV Produktion und zugehörige Werte der realisierten SI generiert.
- Für die Menge der so erhaltenen Datenpaare wird mittels linearen Regression der beste Fit erstellt.
- Die so erhaltene lineare Funktion wird für das betreffende Zeitintervall von 2 Stunden herangezogen um die vorhergesagten SI-Werte umzurechnen in die zu erwartende PV-Produktion.

Der Vorteil des oben beschriebenen Verfahrens besteht darin, dass durch die Regression basierend auf vergangenen Daten des Haushaltes implizit die Ausrichtung und der Neigungswinkel der PV Anlage „gelernt“ wird. Auch der Einfluss von schattenwerfenden Bäumen oder anderer Gegenstände wird implizit verarbeitet. Das gewählte Verfahren hat sich nach einer Analyse der Daten, die im ersten Projektabschnitt gewonnen wurden, herauskristallisiert (im ersten Projektabschnitt wurde eine einfachere Prognose verwendet).

- *Weißer Ware*

In dem aktuellen Projekt ist die Einbeziehung von „Weißer Ware“ Geräten beschränkt auf Miele-Geräte, da für diese Geräte im SHC eine Schnittstelle zur Verfügung steht. Die entwickelte Geräteklasse „Weißer Ware“ dient hierbei zum Ansteuern von sowohl der Waschmaschine, dem Trockner und der Spülmaschine. Alle

diese Geräte können als Vertreter der allgemeinen Klasse „Time-shiftable“ angesehen werden. Diese Klasse enthält Geräte die nach ihrem Start ein festes Leistungsprofil haben und die nach ihrem Start auch nicht weiter beeinflusst werden können, bei denen jedoch der Start innerhalb eines von Benutzer spezifizierten Zeitintervalls stattfinden muss.

Als Konfigurationsparameter hat diese Klasse nur den Device Type, der angibt, um welchen Typ „Weiße Ware“ es sich handelt. Als operative Parameter dient zum einen der Current State, der angibt was der aktuelle Zustand des Gerätes ist (z. B. Off, StandBy, WaitingToStart oder Active). Ferner ist der Name des ausgewählten Programms (Program Name), die Program Start Time, die Remaining Time und die Duration gegeben. Da die Miele Schnittstelle keine Eingabe des Endzeitpunktes bei einem „Smart Start“ des Gerätes (nur bei diesem Smart Start hat Triana die Möglichkeit den Einsatz zu steuern) erlaubt, wurde festgelegt, dass der letztmögliche Startzeitpunkt 4 Stunden nach dem Zeitpunkt ist, an dem das Gerät programmiert wurde (ProgramStartTime).

Wenn für ein Gerät der Klasse „Weiße Ware“ eine Planung erstellt werden muss, hat man prinzipiell 3 verschiedene Situationen zu unterscheiden:

- Das Gerät wurde schon programmiert, aber noch nicht gestartet.
- Das Gerät läuft.
- Das Gerät ist ausgeschaltet und nicht programmiert.

Im ersten Fall bestimmt Triana den besten Startzeitpunkt im zulässigen Intervall, wobei zur Bestimmung des besten Zeitpunktes das jeweilige Preisprofil herangezogen wird. Läuft das Gerät bereits, hat das Gerät keine Flexibilität und Triana nimmt nur die Restlaufzeit auf in die Planung. Im dritten Fall kann man sich dafür entscheiden das Gerät nicht in die Planung aufzunehmen oder auf Basis von historischen Daten aus der lokalen Datenbank des Haushaltes eine Prognose über den möglichen Gebrauch (Programmierung) des Gerätes zu erstellen. In einer ersten Version wurden hierzu die Daten des vorherigen Tages herangezogen, doch dies führte zu mehr Unsicherheit als ein Weglassen des Gerätes. In der aktuellen Version wird das Gerät im dritten Fall nicht eingeplant, aber in der Zukunft soll untersucht werden, ob es bessere Vorhersagestrategien gibt.

#### - *Wärmepumpe*

In dem aktuellen Projekt werden nur bestimmte Wärmepumpen der Firma Stiebel Eltron unterstützt, da für diese Geräte im SHC eine Schnittstelle zur Verfügung steht (bzw. im Laufe des Projektes entwickelt wurde). Obwohl die Wärmepumpen von Stiebel Eltron mit dem Vermerk „Smart Grid Ready“ charakterisiert werden, lassen sie jedoch nur eine eingeschränkte Steuerung zu. Es ist nicht möglich die Wärmepumpe direkt An- oder Auszuschalten, sondern es ist nur möglich zwei interne Parameter der Wärmepumpe anzupassen. Dies sind der Set Point Room Temperature und der Set Point Water Temperature. Ob die durchgeführte Änderung dieser Setpoints auch wirklich zu einem Aus- bzw. Anschalten der Wärmepumpe führt, entscheidet das interne Kontrollsystem von Stiebel Eltron. Um eine Entscheidung zu

treffen, ob und wie die Setpoints verändert werden sollen, kann Triana Informationen über den aktuellen Stromverbrauch, die aktuelle Room Temperature und Water Temperature und die Wassertemperatur in zwei Heizkreisläufen über den SHC erfragen.

Da der Setpoint Room Temperature und der Setpoint Water Temperature langfristig auch Einfluss auf den Komfort im Haushalt haben könnten und da keine gute Beschreibung der internen Abläufe und Zusammenhänge innerhalb der Wärmepumpe vorliegen, wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt nur sehr zurückhaltend in den Betrieb der Wärmepumpe eingegriffen und es wurde vor allem ein logging der Daten durchgeführt.

- *Batterie*

Die Batterie ist eines der flexibelsten Geräte in den Haushalten und ermöglicht es, im Haushalt erzeugte Energie zwischenspeichern und diese Energie dann zu einem späteren Zeitpunkt im Haushalt zu verbrauchen. Es wird hierdurch vermieden, dass diese Energie zuerst ins Netz eingespeist wird und dann zu einem späteren Zeitpunkt wieder an den Haushalt geliefert werden muss. Innerhalb des SmOp kann die Batterie auch dazu benutzt werden, das Verteilnetz zu entlasten. Hierbei kann es dann auch passieren, dass die Batterie mit Strom aus dem Verteilnetz gefüllt wird. Die in diesem Projekt eingesetzte Batterie darf (auf Grund rechtlicher Bestimmungen in Deutschland) keinen Strom aus der Batterie zurück in das Verteilnetz liefern. Um dies sicherzustellen, kann beim Entladen der Batterie der Powerwert nicht von Triana gesetzt werden, sondern orientiert sich am aktuellen Verbrauch im Haushalt (dies entspricht dem Operating Mode „Battery“). Wenn Triana die Batterie laden möchte, muss es den Operating Mode auf „Charge“ setzen und dabei auch den Parameter „ChargingPowerManual“ auf den gewünschten Powerwert setzen.

Über die Konfigurationsparameter erhält Triana Informationen über die Kapazität und die Untergrenze für den State of Charge (SoC) der Batterie. Im operativen Betrieb kann Triana den aktuellen SoC (absolut und in Prozent) erfragen, wie auch über die aktuelle PV-Produktion und den Verbrauch des Haushaltes. Um die Batterie gemäß einer erstellten Planung zu steuern, wird Triana bei einem negativen Wert im Leistungsprofil der Planung der Batterie (bedeutet entladen), den Operating Mode auf „Battery“ setzen und bei einem positiven Wert den Operating Mode auf „Charge“ und den Parameter „ChargingPowerManual“ auf den Powerwert in der Planung. Man beachte, dass dies zur Folge hat, dass die erstellte Planung nur zu einem gewissen Teil befolgt werden kann.

Bei der Erstellung einer Planung für die Batterie werden im Prinzip immer Paare von Zeitintervallen gesucht, bei denen das eine Intervall eine Lastspitze aufweist und das andere Intervall eine Lastsenke (i. A. wird hier ins Netz exportiert und ist der Lastwert negativ). Zwischen diesen Intervallen kann nun die Batterie einen Ausgleich schaffen. Die Paare werden dabei so gesucht, dass eine möglichst große Verbesserung der Bewertung eines Lastprofils erreicht werden kann. Diese Planung führt dazu, dass zum einen mehr lokal erzeugte Energie im Haus bleibt und dabei die größten Last- bzw. Erzeugungsspitzen reduziert werden.

## 2.2.7 Ein erläuterndes Beispiel

Im Folgenden wird ein erläuterndes Beispiel für die in Abschnitt 2.2.2 beschriebene lokale Optimierung gegeben. Diese wurde von Triana benutzt, um ein hausoptimiertes Leistungsprofil zu bestimmen (flaches Preisprofil). Wir betrachten hierzu einen Haushalt mit einem Smart Meter, einer Waschmaschine und einer PV-Installation und stellen die ersten zwei Iterationen der Planung dar. Ferner nutzen wir für die Übersichtlichkeit Zeitintervalle von 30 Minuten (und nicht 15 Minuten). Die Waschmaschine in diesem Beispiel muss zwischen 7.00 und 13.30 Uhr gestartet werden und das Verbrauchsprofil ist in Tabelle 1 wiedergegeben. Die Werte in der Tabelle sind so zu interpretieren, dass die Waschmaschine im 1. Zeitintervall nach dem Start 700 Watt verbraucht, im nächsten 450 usw.

Interval	1	2	3	4
Consumption (Watts)	700	450	300	400

Tabelle 1: Verbrauchsprofil der Waschmaschine

Als prognostiziertes Leistungsprofil der Basislast wird das Profil aus Abbildung 11 gewählt und die prognostizierte Erzeugungskurve der PV-Installation ist in Abbildung 12 gegeben. Die totale PV Produktion ist 22.872 Wh und der totale Verbrauch ist 10.535 Wh.

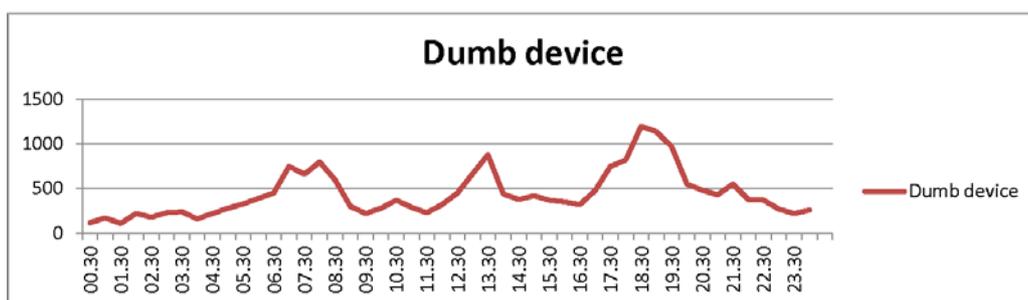


Abbildung 11: Prognostiziertes Leistungsprofil der Basislast

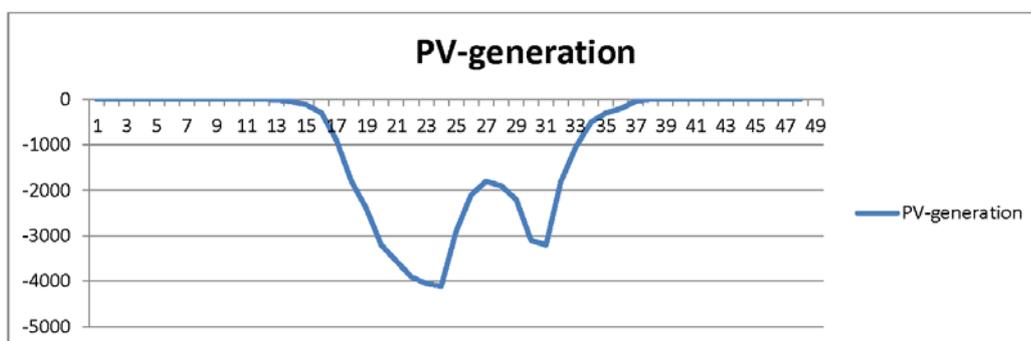


Abbildung 12: Prognostizierte Erzeugungskurve der PV-Installation

Wenn in dieser Situation Triana eine lokal optimierte Planung erstellen soll, wird zuerst an alle 3 Geräte ein flaches Preisprofil (überall den Wert 500) verschickt. Die resultierenden Planungen in Schritt 2 der lokalen Optimierung sind für PV und die Basislast die in den Abbildungen 11 und 12 gegebenen Profile, da diese Geräte keine Flexibilität haben. Die Waschmaschine hat bei einem flachen Preisprofil auch keine Präferenzen und könnte somit die Planung aus Abbildung 13 liefern (sofort starten um 7.00 Uhr). Dies führt in Schritt 3

der lokalen Optimierung zu dem Gesamt-Leistungsprofil für den Haushalt, das in Abbildung 14 gegeben ist.

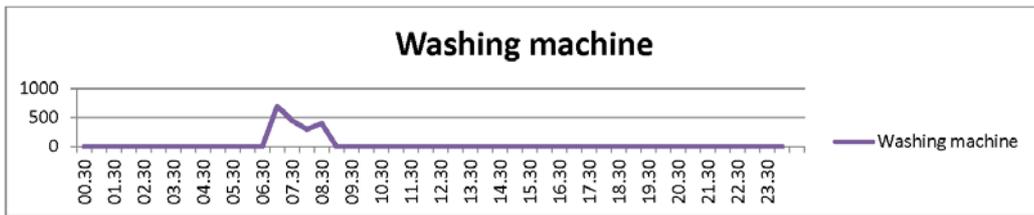


Abbildung 13: Einplanung der Waschmaschine in der 1. Iteration

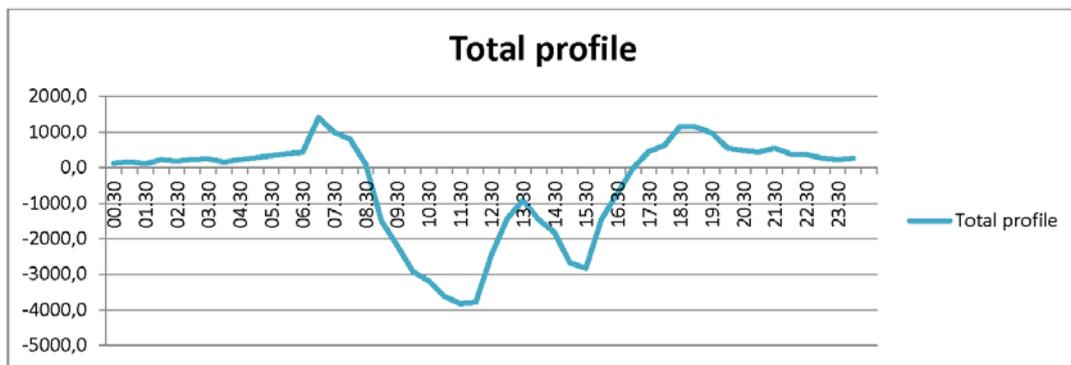


Abbildung 14: Gesamtprofile nach der 1. Iteration

Die totale Leistung des Profils nach der 1. Iteration beträgt -11.275 Wh und führt somit zu einem gewünschten flachen Profil, bei dem in jedem Zeitintervall -470 W gewünscht wird. Wenn wir nun annehmen, dass das System eine Abweichung von +300 W toleriert, würden alle Profilwerte außerhalb des Intervalls [-770,-170] die Grenzen verletzen (siehe Abbildung 15). Für die zugehörigen Zeitintervalle werden nun die Preise im Preisprofil angepasst (in unserem Beispiel gehen wir davon aus, dass der Preis für alle Geräte angepasst wird). Für die Intervalle, bei denen der Wert in Gesamtprofil über -170 W liegt, werden die Preise erhöht (in diesen Intervallen soll weniger verbraucht werden) und für die Intervalle, bei denen der Wert in Gesamtprofil unter -770 W liegt, werden die Preise erniedrigt (in diesen Intervallen soll mehr verbraucht werden). Wir wählen in diesem Beispiel eine Erhöhung bzw. eine Erniedrigung des Preises um 100. Das neue Preisprofil ist in Abbildung 16 gegeben.

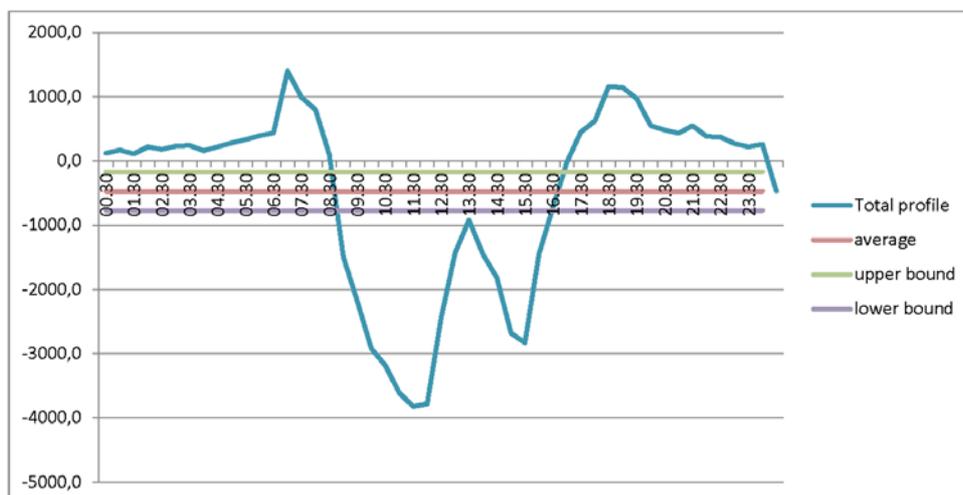


Abbildung 15: Untere und obere Grenze um das gewünschte (flache) Profil

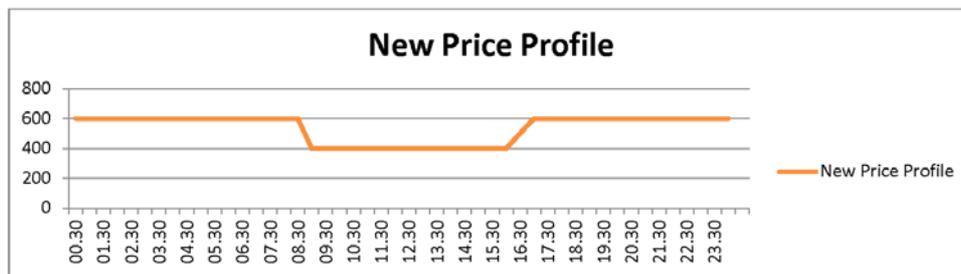


Abbildung 16: Angepasstes Preisprofil nach der 1. Iteration

Das neue Preisprofil wird nun zu den Geräten geschickt, diese erstellen eine Planung, basierend auf diesem neuen Preisprofil, und schicken die Planungen zurück zum lokalen Optimierungsplaner. Da PV und die Basislast keine Flexibilität haben, bleiben deren Profile unverändert. Für die Waschmaschine jedoch ändert sich die Situation. Die Intervalle, in denen die Waschmaschine in der vorherigen Planung lief, sind jetzt „teuer“ geworden (600), wobei die Zeitintervalle ab 9.00 Uhr jetzt billig sind. Daher wird die Waschmaschine jetzt zum Zeitpunkt 9.00 Uhr gestartet. Das resultierende Profil für die Waschmaschine ist in Abbildung 17 gegeben.

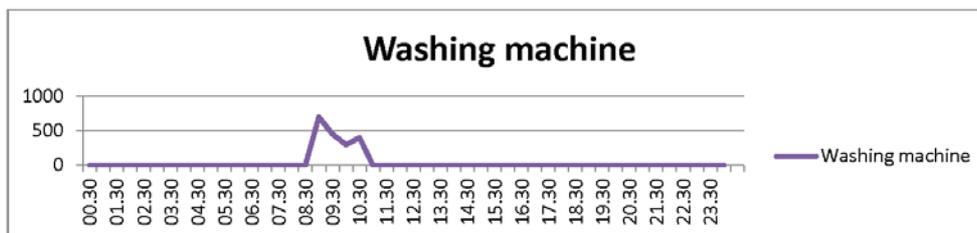


Abbildung 17: Einplanung der Waschmaschine in der 2. Iteration

Wenn jetzt die Geräte ihre neuen Profile zurück senden, führt dies zu einem geänderten Gesamtprofil verglichen mit der 1. Iteration. Das neue und das alte Gesamtprofil sind in Abbildung 18 dargestellt. Es ist zu sehen, dass die Waschmaschine jetzt zu einem Zeitpunkt eingeplant ist, in der ein Überschuss an PV Produktion im Haushalt vorhanden war.

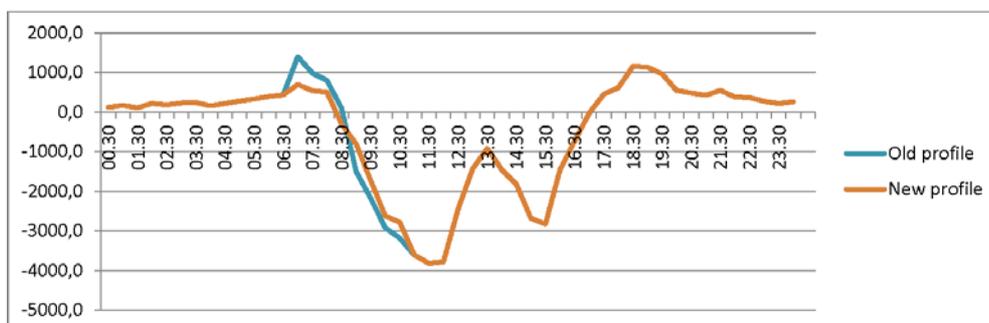


Abbildung 18: Gesamtprofile nach der 1. und 2. Iteration

## 2.3 Diskussion der Ergebnisse

### 2.3.1 Integration der Geräte in den Home Energy Controller

Bis Ende 2014 und zum Teil bis ins Jahr 2015 wurde der Home Energy Controller (HEC) in die Infrastruktur der Kindertagesstätte Haren integriert. Ziel war es die vorhandenen Geräte so zu steuern, dass vor allem eine bessere Anpassung des lokalen Stromverbrauchs bzw. der lokalen Speicherung an die lokale Stromerzeugung erfolgt.

Bei der Einbindung und Installation des HEC traten einige Probleme auf, die vielfach darauf zurückzuführen waren, dass bestimmte haustechnische Anlagenteile nicht bzw. nur unzureichende Informationen kommunizieren und schwerer anzusteuern waren, als vermutet.

- Um die Wärmepumpe in den HEC integrieren zu können, waren zuerst etliche Anpassungen und Ergänzungen von Seiten des Herstellers nötig. Ferner stellte es sich heraus, dass die interne Optimierung und Abstimmung einer Wärmepumpe durch den Hersteller dazu führen kann, dass Energie-Management-Systeme die Flexibilität, die eine Wärmepumpe in sich hat, nicht voll nutzen können (obwohl diese Geräte über ein „smart grid ready“-Attribut, vergeben vom Bundesverband Wärmepumpe, verfügen). Die in Haren verwendete Wärmepumpe erlaubt nur eine sehr indirekte Steuerung über sogenannte „Setpoints“ und nicht eine on/off Steuerung im Rahmen des vom Benutzer festgelegten Komfortlevels. Aus Sicht der Hersteller und im Zusammenhang mit dem bisherigen Einsatz von Wärmepumpen ist dieser Ansatz verständlich und auch gut, aber in zukünftigen Systemen, in denen ein dezentrales Energiemanagement vorgenommen werden soll, wäre es hilfreich, wenn die Wärmepumpe mehr Freiraum für die externe Ansteuerung freigeben würde. Auch wären mehr Rückmeldungen aus dem Gerät sinnvoll (z. B. Temperaturen im Warmwasserspeicher, so dass diese Flexibilität besser genutzt werden könnte). Ferner wäre es für die Zukunft wichtig, dass zwischen unterschiedlichen Herstellern von Geräten mit Flexibilität in Bezug auf ihren Energieverbrauch einheitliche Schnittstellen zur externen Ansteuerung abgestimmt werden. Ein Beispiel für ein solches Konzept ist z. B. das „Energy Flexibility Platform & Interface (EF-Pi)“-Projekt, bei dem verschiedene abstrakte Geräteklassen definiert werden und die Gerätehersteller dann sogenannte Treiber zur Ansteuerung ihrer Geräte über diese Klassen bereitstellen (für nähere Informationen siehe <http://flexiblepower.github.io/technology/efpi/>).

Zusammenfassend lässt sich hier sagen, dass eine stärkere Kooperation mit und zwischen den Herstellern der Anlagenkomponente sinnvoll und erforderlich wäre und dass bei der Definition von Kommunikationsschnittstellen eine Abstimmung mit der Energiewirtschaft erfolgt.

- Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Einbindung der Ladebox für das E-Car über das Smart Home System als ein sogenannter „Schalter“ einige gravierende Nachteile hat:
  - Beim Anschließen des Autos wird keine Mitteilung an das System zurückgeschickt, wie lange der Ladevorgang in etwa dauert. Dies bedeutet, dass der

HEC davon ausgehen muss, dass das Auto die maximal mögliche Energiemenge laden muss und somit der maximale Zeitraum, den ein Ladevorgang dauern kann, einzuplanen ist. Ist das Auto aber nur zu einem Teil geladen, nutzt man die vorhandene Flexibilität nur zu einem geringen Teil.

- Es ist auch keine Rückkopplung vorhanden, die den tatsächlichen Energieverbrauch während des Ladevorganges mitteilt. Somit muss in dem HEC davon ausgegangen werden, dass für den gesamten Zeitraum, in dem der Ladevorgang eingeplant ist (und dies ist auch Grund des 1. Nachteils der maximale Ladezeitraum!), die maximale Strommenge verbraucht wird. Dies bewirkt zum einen eine fehlerhafte Bewertung des Ladevorganges und zum anderen wird hierdurch die Basislast falsch berechnet. Ohne eine Rückkopplung des Stromverbrauches seitens der Ladesäule ist dieser Fehler aber nicht zu vermeiden

Die beiden genannten Nachteile bewirken, dass eine gute Steuerung des Ladevorganges und ein Abstimmen mit anderen Geräten erschwert werden und somit mehr Unsicherheiten erzeugt werden. Es sollte hier angemerkt werden, dass bei der nächsten Generation von Ladesäulen die geforderte Kommunikation vorhanden sein wird.

- Bei der Implementierung der Schnittstellen zu „Weiße Ware“ Geräten, stellte sich heraus, dass die Schnittstellen zu den drei Gerätetypen „Waschmaschine“, „Trockner“ und „Spülmaschine“ leicht unterschiedlich waren, obwohl sie alle vom gleichen Hersteller waren. Dies erschwerte die Entwicklung der entsprechenden Verfahren zur Steuerung der Geräteklasse „Weiße Ware“, da erst im Betrieb festgestellt wurde, dass die Schnittstellen unterschiedlich reagieren. Auch hier ist eine Vereinheitlichung der Schnittstellen notwendig, und zwar nicht nur innerhalb der Palette eines Herstellers, sondern auch zwischen unterschiedlichen Herstellern.
- Die Wechselrichter der Photovoltaikanlage lieferten nach Einbindung in den Algorithmus zunächst plausible Daten; die Schnittstelle zwischen den Systemen mit Format der Daten etc. war bereits vorher entwickelt und getestet worden. Bei der Installation in Haren wurden jedoch andere (größere) Wechselrichter des gleichen Unternehmens eingebaut. Diese waren unglücklicherweise mit einer anderen Bedienung der Schnittstelle programmiert, so dass bspw. die Leistungsdaten in einer falschen Dimension übertragen wurden, was im Monitoring und in der Steuerung zu Problemen führte. Trotz vorheriger Zusicherung vom Hersteller, dass die Wechselrichter die gleiche Schnittstelle hätten, zeigte sich im Feldtest, dass an verschiedenen Stellen die Software angepasst werden musste. Hieran wird wiederum die Notwendigkeit der einheitlichen Einrichtung der Schnittstellen zwischen den Geräten deutlich.

Allgemein hat es sich gezeigt, dass Fehlverhalten oder Fehlinstallationen von Anlagenkomponenten nur sehr schwer, für den Laien eventuell sogar überhaupt nicht, zu erkennen sind, da die Komplexität der gesamten Anlagentechnik gleichzeitig eine gewisse Intransparenz in sich birgt.

Ein anderer Aspekt, der im Laufe des Projektes mehrfach zu Problemen und somit zu Verzögerungen geführt hat, ist die Nutzung von Kommunikations- und Rechnerinfrastruktur.

- Die Kindertagesstätte Haren liegt in einer Region, die kaum mit schnellen Internetanbindungen ausgestattet ist. Im Rahmen einer Entwicklungsphase findet aber täglich ein starker Datenaustausch zwischen dem HEC und dem Backend statt, um sowohl Steuerinformation als auch Statistikdaten auszutauschen. Bei einer schlechten oder teilweise tagelang ausbleibenden Kommunikation laufen die lokalen Speicher voll. Es gab zwei Auswirkungen: a) es konnten keine weiteren Daten aufgenommen werden, b) durch den Kommunikationsaufwand bzw. den Aufwand, um eine Kommunikation herzustellen, wurden Teilsysteme so stark belastet, dass Programminstabilitäten auftraten. Durch den Einsatz von einem hochperformanten Richtfunk konnte dieses Bandbreitenproblem zum größten Teil gelöst werden. Diese Optimierung hat mehrere Monate in Anspruch genommen.
- Während sich der obige Punkt vor allem auf die Kommunikation zum Backend bezieht, traten auf dem HEM PC während der Entwicklungs- und Testphase auch andere Kapazitätsengpässe auf. Diese waren zu einem großen Teil auf ein vermehrtes Datenlogging in dieser Phase zurückzuführen. Problematisch war jedoch, dass diese Engpässe nicht zu einem direkten Fehler des Systems führten, sondern erst im Laufe der Zeit auftauchten und dann nur zu einer Verzögerung von Prozessen führte, die nicht im Betriebsablauf festzustellen war, sondern sich erst in Evaluationen der erhaltenen Daten zeigte. Hier spielte vor allem die große Komplexität des entwickelten Systems eine Rolle.
- Für den Einbau der Ladebox wurde zunächst eine Metallbox errichtet, in der die Ladebox vor Regen und Wind geschützt war. Da das RWE SmartHome System aber im wesentlichen Maße auf einer funkbasierten Lösung basiert, war hierdurch keine Kommunikation mehr mit der Ladebox möglich („Faradayscher Käfig“). Als Reaktion hierauf wurde ein Holzschuppen erstellt, in der die Ladebox integriert wurde und nun über einen Funkrouter angesteuert wird.

### 2.3.2 Einbeziehung der Nutzer in das Konzept

Ein zweiter Aspekt betrifft die Einbeziehung der Nutzer. Es hat sich z. B. beim Laden des E-Car gezeigt, dass die Nutzer den Aufwand scheuen, um jeweils zum SHC zu gehen und dort mittels eines Interfaces anzugeben, bis wann das Fahrzeug wieder vollständig geladen sein muss. In der Testphase in der Kindertagesstätte wurde dies umgangen, in dem ein fester Zeitraum festgelegt wurde, in dem das E-Car geladen werden konnte. Auch wäre es gut, wenn der Nutzer in noch größerem Umfang Feedback über bestimmte Handlungen und deren Effizienz erhalten würde, z. B. inwiefern er das Elektroauto besser oder effizienter nutzen bzw. aufladen kann oder wann Beladungen der Waschmaschine sinnvoll sind oder dergleichen. Langfristig wäre es denkbar und wünschenswert, wenn die Bereitstellung von Flexibilität vom Benutzer beeinflussbar wäre und wenn dieser Informationen über mögliche Einsparungen erhält. Viele der erwähnten Punkte erfordern ein benutzerfreundliches Bedien- bzw. Kommunikationsinterface. Z. B. könnte beim Verbinden eines Elektroautos mit

der Ladestation direkt nach der zukünftigen Benutzung, z. B. des Elektroautos, gefragt werden: „Wann benötigen Sie das Auto voraussichtlich wieder?“. So könnte der HEC besser planen und der Nutzer wird direkter in den ressourcenschonenden Umgang mit Energie eingebunden.

Ferner hat sich auch gezeigt, dass zumindest für ein Gebäude wie eine Kindertagesstätte die Flexibilität für gewisse Verbrauchsvorgänge nur eingeschränkt möglich ist bzw., dass hier eine Abstimmung zwischen Nutzerverhalten und Steuerungseinheit stattfinden muss, damit lokal produzierte Energie optimal ausgenutzt wird (da z. B. Wäsche 3-5 mal pro Tag gewaschen wird, kann keine Flexibilisierung stattfinden und der HEC kann sein Potential nicht entfalten; hierauf wurde durch einen daraufhin aufgestellten Waschplan reagiert). Man sieht an diesem Punkt, dass Ergebnisse aus Untersuchungen bei Privathaushalten nicht immer übertragbar sind auf öffentliche Einrichtungen, und dass im Bereich des Energiemanagements eine Analyse der Verbrauchsprofile eine wichtige Rolle spielt, um die Möglichkeiten und Chancen eines lokalen Energiemanagements zu beurteilen.

### **2.3.3 Potential des Home Energy Controllers**

Die bisherigen Diskussionspunkte beziehen sich vor allem auf den Betrieb der einzelnen Komponenten bzw. Geräte, deren Einbindung in den HEC und die Rolle der Nutzer. Im Folgenden werden einige Aspekte dargestellt, die sich auf die für den HEC entwickelten Verfahren zur Prognose und Einplanung der verschiedenen Komponenten beziehen

- Eine wichtige Komponente im Leistungsprofil eines Haushaltes ist die sogenannte Basislast; d. h. die Summe aller Elektrizitätsverbräuche, die nicht zu den im HEM eingebundenen Geräten gehört. Diese Komponente setzt sich aus den unterschiedlichsten Elementen zusammen (Beleuchtung, Kommunikation und Entertainment, Kochen, nicht steuerbare Haushaltsgeräte etc.) und ist auch sehr stark benutzerabhängig. Für die Einplanung der steuerbaren Geräte ist eine gute Prognose dieser Basislast wichtig, sie ist wegen der starken Abhängigkeit von Nutzerverhalten schwierig und wird nie fehlerfrei sein können. Die ersten gelieferten Daten aus der Kindertagesstätte zeigten, dass die Basislast stark abhängig ist von dem jeweiligen Wochentag. Daher wurde eine Anpassung der Prognoseverfahren durchgeführt, wobei eine stärkere Berücksichtigung der Wochentage vorgenommen wurde.
- Für die Energieerzeugung der PV Anlage gilt ähnliches wie für die Basislast; sie ist nicht steuerbar aber wichtig als Bezugsgröße bei der Einplanung der anderen Geräte. Daher ist auch hier eine gute Prognose wichtig. Auf Basis der in der ersten Versuchsphase erhaltenen Daten, wurde ein neues Verfahren zur Vorhersage der PV Erzeugung erstellt. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es aus den historischen Daten des aktuellen Haushaltes (Daten der letzten 30 Tage) die nötigen Koeffizienten für das Prognoseverfahren erstellt. Somit „lernt“ das Verfahren die Lage und Ausrichtung der vorhandenen PV-Anlage und auch den Einfluss der Jahreszeiten. Es zeigt sich, dass dieses Verfahren gut arbeitet (siehe Abbildung 19 für eine Gegenüberstellung einer Planung und der dazugehörigen Realisierung der PV Produktion). Der größte Schwachpunkt für die Qualität der Prognose ist die Wetterprognose. In der aktuellen Implementation des Gesamtsystems wird nur einmal pro Tag eine neue

Wetterprognose an den HEM übermittelt. Dies hat zur Konsequenz, dass gerade für die etwas weiter in der Zukunft liegenden Zeiten die Prognose der Sonnenintensität fehlerhaft sein kann. Eine frequentere Übermittlung von Wetterprognosen kann hier aber Abhilfe schaffen.

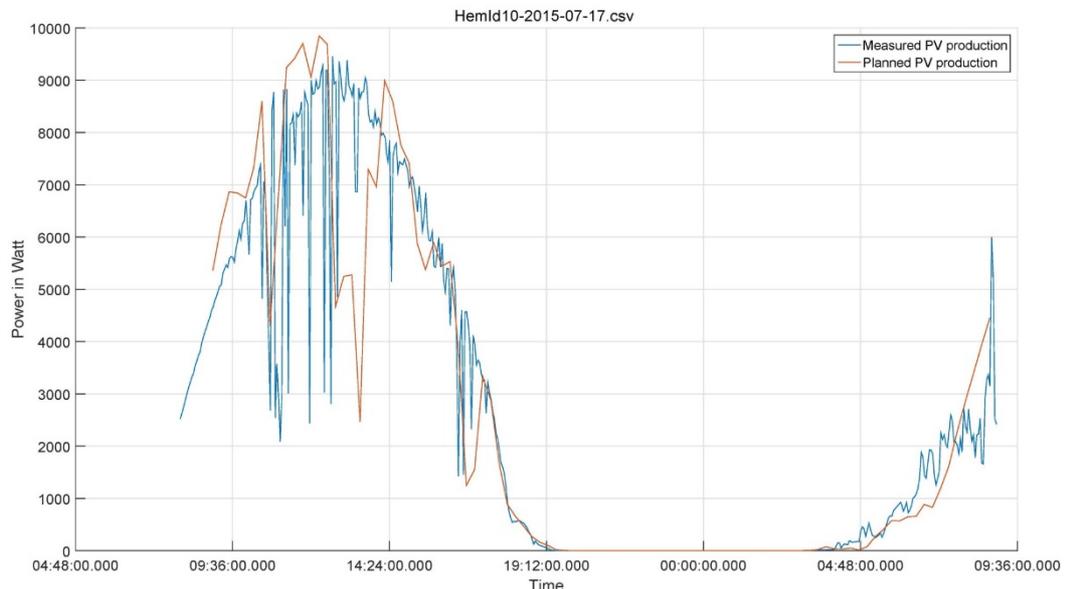
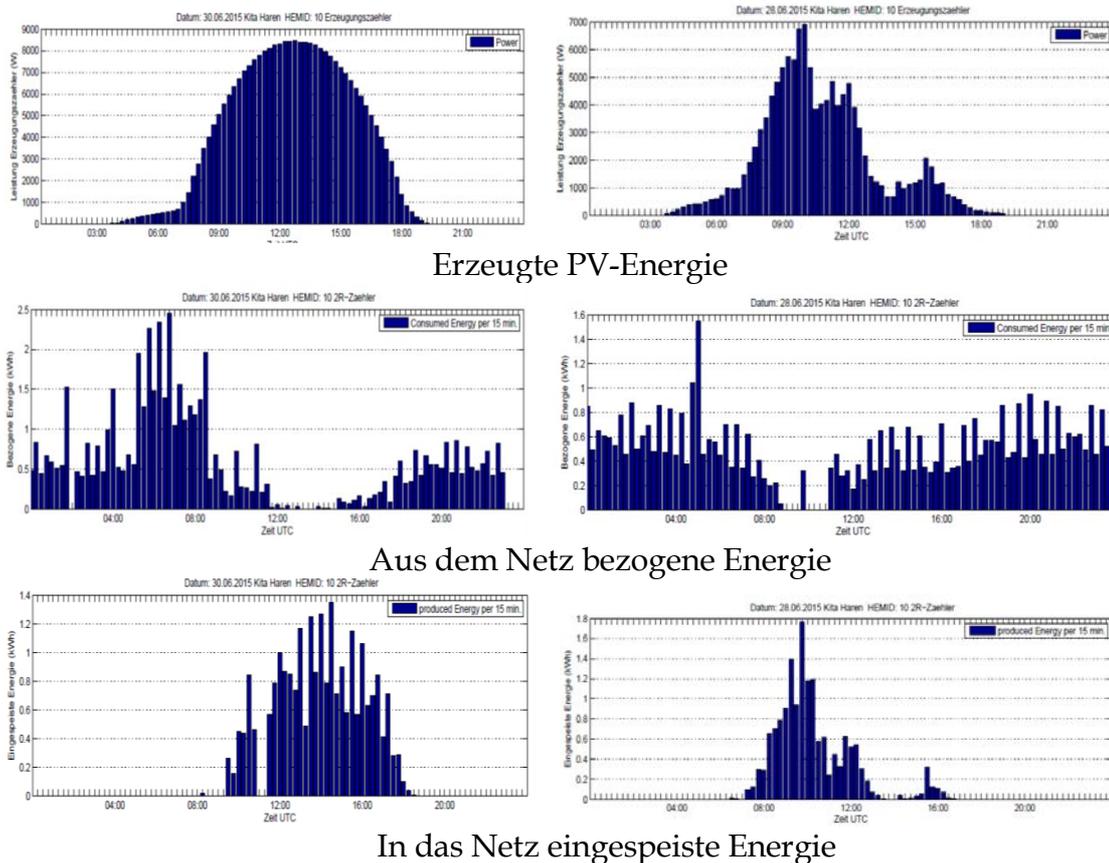


Abbildung 19: Prognostizierte und tatsächliche PV Erzeugung

- Wird eine Wärmepumpe eingesetzt für den Heizbedarf in einem Gebäude, hat sie im Prinzip ein gutes Potential für die Steuerung durch den Home Energy Controller, vor allem in Kombination mit einem Wärmespeicher. Sie stellt vor allem in der kalten Jahreszeit einen großen Verbrauch dar, und durch den Wärmespeicher und die Speicherkapazität der Gebäudemasse könnte die Produktion der erforderlichen Wärme bis zu einem gewissen Maße vom Zeitpunkt des Bedarfes entkoppelt werden. Um dieses Potential für den HEC nutzen zu können, wären aber mehr Informationen über den Speicherzustand und die möglichen On-Zeiten bzw. Off-Zeiten der Wärmepumpe nötig. Auch wäre eine direkte Ansteuerung des Einsatzes der Wärmepumpe hilfreich (on/off), wobei vom internen Kontrollsystem der Wärmepumpe dafür Sorge getragen werden sollte, dass die Randbedingungen für den Betrieb (technische sowie benutzerdefinierte) eingehalten werden.

In der momentanen Konstellation ist eine detaillierte Einplanung der On- bzw. Off-Zeiten der Wärmepumpe in der Planung für die nächsten 24 Stunden nicht möglich. Wohl wird versucht, in der Real-Time-Control die Wärmepumpe vor allem in Zeiten eines PV-Überschusses einzuplanen. Durch die technischen Verzögerungen bei der Integration der Wärmepumpe und die Reduktion der Testphasen im Echtbetrieb auf die Wintermonate, sind hier zum jetzigen Zeitpunkt noch keine detaillierteren Erkenntnisse gewonnen. Um hier noch weitere Erkenntnisse zu bekommen und in weiteren Projekten nutzen zu können, wird die Evaluationsphase von den beteiligten Partnern auch über das Projektende hinaus weitergeführt. Da der HEC mittlerweile auch in einem weiteren Feldversuch der RWE integriert ist (im Rahmen des „Smart Operator“ Projektes von RWE wurden in Wertachau in 24 Einfamilienhäuser der HEC installiert und wurden diese HECs in ein Gesamtsystem integriert), können auch die dortigen Evaluationen mit herangezogen werden.

- Ein Ziel des HEC sollte sein den Anteil der lokal erzeugten Energy, der auch lokal verbraucht wird, zu erhöhen. Dies ist im Prinzip auch der Fall, jedoch ist dieser Anteil bei der Kindertagesstätte nicht sehr groß. Dies liegt vor allem daran, dass in der Kindertagesstätte die Basislast sehr oft schon so hoch ist, dass die erzeugte PV-Energie auch ohne den Einsatz des HEC komplett in der Kindertagesstätte verbraucht wird.



(a) Sehr sonniger Dienstag (30.06.2015) (b) sonnig/bewölkt, Sonntag (28.06.2015)

Abbildung 20: Gegenüberstellung PV Produktion und Energieverbrauch in der Kindertagesstätte, kein Einsatz

In der Abbildung 20 (a) ist zu sehen, dass selbst an einem sonnigen Tag mitten im Sommer ein beachtlicher Teil der PV-Produktion durch die Basislast der Kindertagesstätte verbraucht wird. In Teil (b) der Abbildung ist dann ein teils sonniger, teils leicht bewölkt Sonntag dargestellt. Selbst an einem solchen Tag, an dem in der Kindertagesstätte kein Betrieb ist, wird ein beachtlicher Teil der PV-Produktion in der Kindertagesstätte verbraucht. Für bewölkte Tage bzw. Tage außerhalb des Sommers sieht die Bilanz noch wesentlich ungünstiger aus und es wird oft kein PV-Strom in das Netz eingespeist, auch ohne den Einsatz des HEC. Dies zeigt, dass gemessen am Verbrauch der Kindertagesstätte die Dimension der PV-Anlage sehr klein ist und eine Erweiterung der PV-Anlage sinnvoll sein könnte.

Allgemein ist zu empfehlen, bei einer Installation einer PV-Anlage im Zusammenhang mit einem Home Energy Controller vor der Installation eine Analyse der Bedarfsprofile vorzunehmen und dann die Dimension der PV-Anlage so zu wählen, dass über das ganze Jahr gesehen durch die Basislast und die durch den HEC zu erzielenden Profile eine gute Eigennutzung des PV-Stromes zu erzielen ist.

- Im Zusammenhang mit Analysen zum vorherigen Punkt tauchte die Frage auf, ob die Höhe des Energieverbrauchs in der Kindertagesstätte passend für ein modernes Gebäude dieser Art ist und wie sich die Basislast der Kindertagesstätte zusammensetzt. In Tabelle 2 ist eine Übersicht des Gesamtelektrizitätsverbrauchs der Kindertagesstätte an zwei Tagen im Mai 2015 gegeben.

Gesamtverbrauch (29.05.2015)	142 kWh
davon PV-Erzeugung	32 kWh
Netzbezug	110 kWh
Verbrauch zwischen 21:00h und 4:00	10,5 kWh
Verbrauch an einem Ruhetag (30.05.2015)	47 kWh
Referenzwert	223 kWh
Quelle: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BBSR Publikation Nr 09/2009	

Tabelle 2: Elektrizitätsverbrauch der Kindertagesstätte Haren

Auch wenn auf den ersten Blick der Gesamtverbrauch hoch erscheinen mag, zeigt ein Vergleich mit einem Referenzwert für Kindertagesstätten dieser Größe (ca. 950 m<sup>2</sup> NGF) und mit diesem Profil, dass der Verbrauch im Rahmen liegt. Es zeigt aber auch noch einmal, dass die PV-Anlage (10,26 kWp) selbst an einem sonnigen Tag im Sommer nicht mehr Energie erzeugen wird als in der Kindertagesstätte verbraucht wird. Unter Zuhilfenahme der Komponenten des HEC und einiger zusätzlich installierter Messtechnik wurde eine Analyse durchgeführt, wie sich der Stromverbrauch auf die einzelnen Verbrauchskategorien aufteilt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 21 zu finden.

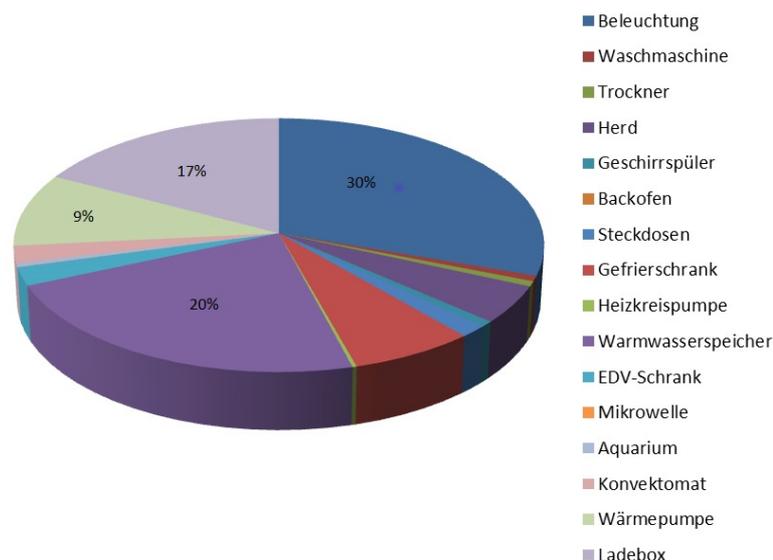


Abbildung 21: Aufteilung des Gesamtelektrizitätsverbrauchs der Kindertagesstätte (29.05.2015)

Auf den ersten Blick überraschend sind die hohen Verbräuche für die Beleuchtung und Warmwasser. Das zweite ergibt sich aus den vielen Aktivitäten der Kinder, bei denen zwischendurch oder abschließend die Hände gewaschen werden müssen.

Hier könnte über eine Reduktion des Wasserflusses nachgedacht werden. Der hohe Wert für Beleuchtung lässt sich u. a. damit begründen, dass Gebäude derzeit oft optimiert werden nach thermischen Gesichtspunkten. Dies führt u. a. dazu, dass weniger Fensterflächen vorgesehen werden. In der Kindertagesstätte hat dies zur Konsequenz, dass auch an sonnigen Tagen noch immer die Beleuchtung in den Räumen in Betrieb sein muss, um eine passende Ausleuchtung zu erreichen (siehe auch Abbildung 22 für einen Eindruck der Lichtverhältnisse in einem Gruppenraum). Es wäre zu überlegen, ob der Energieanalyse in der Erstellungsphase von öffentlichen Gebäuden neben der thermischen Analyse auch die Auswirkungen der Bauweise auf die elektrischen Verbräuche und der resultierenden Flexibilität für ein dezentrales Energiemanagement herangezogen werden.



Abbildung 22: Lichtverhältnisse in einem Gruppenraum der Kindertagesstätte

Zusammenfassend hat das Projekt gezeigt, dass sich Verbrauchsgeräte prinzipiell einsetzen lassen, um die Energieprofile in Gebäuden derart zu beeinflussen, dass die Energieabnahme und die lokale Energieerzeugung besser aufeinander abgestimmt werden. Der entwickelte Home Energy Controller ist in der Lage, mit den entsprechenden Geräten zu kommunizieren und deren Einsatz zu beeinflussen. Hierbei werden Informationen der Basislast und von lokal erzeugter Energie genutzt, um das Verhalten der Geräte an diese Profile anzupassen, um so einen höheren Anteil der lokal erzeugten Energie auch lokal zu verbrauchen. Ferner hat sich in Kombination mit einem weiteren Projekt der RWE in Wertachau gezeigt, dass hierbei auch (regionale) Bedürfnisse des Verteilnetzes mit einbezogen werden können. Der entwickelte HEC stellt jedoch nur eine erste Version eines solchen Systems dar und muss noch weiter angepasst und optimiert werden. Auch muss in Zukunft versucht werden, eine bessere Koordination und Abstimmung, z. B. bei der Entwicklung neuer flexibler Geräte und deren Schnittstellen, aber auch bei der Planung von neuen Gebäuden zu erreichen.

## 2.4 Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung

### 2.4.1 Umweltrelevanz

Laut einer Studie für den Bundesverband Windenergie haben sich die Zwangsrosselungen bei Windenergieanlagen zwischen 2009 und 2010 fast verdoppelt. Demnach musste 2009 an 65 Tagen und 2010 an 107 Tagen eingegriffen werden, heißt es in der Analyse. Durch die Zunahme der Abschaltungen gingen 2010 bis zu 150 Millionen Kilowattstunden Windstrom verloren – betroffen waren vor allem Windräder in Nord- und Ostdeutschland. Mit dieser Menge könnten 40.000 Haushalte ein Jahr lang mit Strom versorgt werden. Die verlorene Strommenge stieg im Vergleich zu 2009 um bis zu 69 Prozent. Nach Angaben der Bundesregierung konnten 2010 rund 127 Millionen Kilowattstunden Windstrom nicht eingespeist werden, weil insbesondere das von diesen Anschlüssen betroffene Hochspannungsnetz für diese Leistung nicht ausgelegt ist und nicht entsprechend schnell verstärkt werden kann. Vielerorts gehen neue Windparks in dünn besiedelten Regionen ans Netz, hier gibt es aber oft zu geringe Kapazitäten, um den Strom abzutransportieren. Diese Entwicklung trifft mittlerweile vermehrt auch die Einspeisung von PV-Anlagen, da hier ähnliche Größenordnungen hinsichtlich Zubau und installierter Kapazität erreicht wurden und insbesondere in ländlichen Regionen die Einspeisemenge den lokalen Verbrauch teils deutlich übersteigt.

Ein Baustein zur Lösung dieser Problematik liegt im Ausbau der Netze. Diese Netzausbauprojekte benötigen aber einen langen Planungs- und Umsetzungszeitraum. Zudem werden für die Umsetzung Freiflächen benötigt, die momentan der Landwirtschaft, der Erholung und dem Naturschutz dienen. Diese Flächen werden zumindest in ihrer Qualität für die bisherige Nutzung eingeschränkt. Zudem wird damit die Einspeisemenge nur in Lastzentren verschoben – es ist allerdings absehbar, dass im gesamten Bundesgebiet in bestimmten Zeiten die Konstellation auftreten wird, dass PV und Wind mehr Energie erzeugen, als in lastschwachen Zeiten verbraucht werden kann, sodass dann auch der reine Abtransport nicht mehr zielführend sein wird.

Daher ist es nahe liegend, parallel die bereits bestehenden Netze besser auszunutzen und an die neuen Produktionsbedingungen anzupassen. Wie bereits beschrieben, setzt hier das Projekt „Netze für die Stromversorgung der Zukunft“ der RWE an. Parallel zu diesem Projekt wurde anhand des vorliegenden Projektes „Neubau einer Kindertagesstätte als Energiepuffer für regenerative Energien“ untersucht, wie öffentliche Gebäude die Schwankungen im Netz lokal dämpfen und gleichzeitig regenerativ erzeugte Energie effizient nutzen können.

Die effiziente Nutzung soll im Rahmen des Projektes durch Simulationen, Einregulierung in der Startphase, Variationen in der Steuerung, Untersuchung zur Abschaltzeit (größtmögliche Zeit, netzoptimale Zeit, PV-optimale Zeit), Wirkung von häufigen kurzfristigen Steuerungssignalen auf die Anlagentechnik und die Gebäudekonditionen, Variation im Optimierungsziel etc. untersucht und evaluiert werden.

#### **2.4.2 Innovationspotential**

Das Projekt des intelligenten Stromnetzes (SmartGrid) umfasst die kommunikative Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern, Speichern, elektrischen Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und -verteilungsnetzen der Elektrizitätsversorger. Diese ermöglicht eine Optimierung und Überwachung der miteinander verbundenen Bestandteile. Ziel ist die Sicherstellung der Energieversorgung auf Basis eines effizienten und

zuverlässigen Systembetriebs. In der Vergangenheit betraf dies vor allem die netzseitigen Elemente. Jedoch ist in Zukunft neben dieser netzseitigen Energiebereitstellung auch die Interaktion mit (öffentlichen) Verbrauchern essentiell für das Konzept des SmartGrids, aber bisher kaum noch realisiert. Mit dem vorliegenden Projekt wird hierfür eine wichtige Grundlage geschaffen, indem eine erste Version eines Home Energy Controllers (HEC) entworfen und entwickelt (Soft- und Hardware) wurde. Dieser HEC ermittelt Profile des zu erwartenden Verbrauches und der Einspeisung und steuert flexible Geräte derart, dass der Verbrauch und die Erzeugung von Elektrizität bereits innerhalb eines Gebäudes besser aufeinander abgestimmt und optimiert werden können. Das Ziel dieser Steuerung ist eine möglichst effiziente Integration von Erneuerbaren Energien in das Verteilnetz. Somit stellt das Konzept eine grundlegende Voraussetzung für zukünftige SmartGrids dar, bei der eine „grenzüberschreitende“ Erweiterung in der Betrachtung des Verteilnetzzustandes vorgenommen wird.

Während bislang Stromnetze mit zentraler Stromerzeugung dominieren, geht der Trend hin zu dezentralen Erzeugungsanlagen sowohl bei der Erzeugung aus fossiler Primärenergie durch kleine KWK-Anlagen als auch bei der Erzeugung aus erneuerbaren Quellen, wie bei Photovoltaikanlagen, Windkraftanlagen und Biogasanlagen, so auch in Haren (Ems). Dies führt zu einer wesentlich komplexeren Struktur, primär im Bereich der Lastregelung, der Spannungshaltung im Verteilnetz und zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität. Kleinere, dezentrale Erzeugeranlagen speisen im Gegensatz zu mittleren bis größeren Kraftwerken auch direkt in die unteren Spannungsebenen, wie das Niederspannungsnetz oder das Mittelspannungsnetz, ein. Eine genauere Untersuchung der möglichen Wechselwirkungen in diesen Ebenen kann ein Baustein zur optimierten Nutzung der vorhandenen Kapazitäten werden.

Generell werden Netze, auch elektrische Energieversorgungsnetze, auf die mögliche Höchstbelastung ausgelegt. Die Reduktion jener Höchstbelastung und die zeitliche Verlagerung der zu übertragenden Energie in Zeiten mit geringerer Auslastung ermöglicht die notwendige Netzinfrastruktur kleiner auszulegen und führt dadurch allseitig zu Kostenvorteilen. Dies gilt sowohl für den Einspeisefall (maximale Einspeisung bei geringer Last) als auch für den Lastfall (maximale Last bei geringer Einspeisung). Eine Verschiebung von Spitzen führt zudem dazu, dass mehr Einspeisung und Last angeschlossen werden kann. Bei einer Verlagerung bleibt die insgesamt übertragene Energiemenge in etwa gleich, es wird nur die Auslastung der Netze optimiert. Kostenvorteile und Versorgungssicherheit sind daher Anreize, teure Lastspitzen zu vermeiden. Diese Nivellierung der Last kann mittels intelligenter Netze durch automatische Steuerungen und Kontrolle von Verbrauchsanlagen im Rahmen einer Last-, Einspeise- und Speichersteuerung erfolgen.

Eine Eigenschaft intelligenter Netze ist die Möglichkeit, Zustandsinformationen und Lastflussdaten aus den einzelnen Netzelementen, wie z. B. Erzeugungsanlagen, Verbrauchern (Haushalte, öffentliche Gebäude oder Industrieanlagen) oder auch Transformatorenstationen in Echtzeit abrufen und verarbeiten zu können. Ein intelligentes Stromnetz bezieht neben den Produktionsanlagen auch größere Verbraucher wie Wärmepumpen, Warmwasserspeicher, Tiefkühler, Autobatterien usw. in das Netzmanagement mit ein. Hier setzt das skizzierte Projekt an, um Produktionsspitzen der regenerativen Produzenten optimal auszunutzen.

Ein intelligentes Stromnetz integriert sämtliche Akteure auf dem Strommarkt durch das Zusammenspiel von Erzeugung, Speicherung, Netzmanagement und Verbrauch in ein Gesamtsystem. Kraft- und Speicherwerke werden bereits heute so gesteuert, dass stets nur so viel Strom produziert wird, wie benötigt. Intelligente Stromnetze beziehen in diese Steuerung die Verbraucher sowie dezentrale kleine Energielieferanten und -speicherorte mit ein, so dass einerseits ein zeitlich und räumlich homogener Verbrauch entsteht und andererseits prinzipiell heterogene Erzeuger (z. B. Windkraft und Sonnenenergie) und Verbraucher (z. B. öffentliche Gebäude) besser integriert werden können.

Für die Verbraucher ist eine wesentliche Änderung der Einbau von intelligenten Zählern (auch SmartMeter). Ihre zukünftigen Kernaufgaben sind Monitoring und Fernauslesung. In Verbindung mit der Installation eines HECs besteht außerdem die Möglichkeit, kurzfristig innerhalb eines Tages auf schwankende Einspeisung oder auch auf Niedertarifzeiten mittels angepasstem Verbrauch intelligenter Geräte reagieren zu können. Hierfür muss also eine Datenübertragungsmöglichkeit zwischen Zähler und HEC im Haushalt installiert sein.

Um ohne Komforteinbußen Preisvorteile zu realisieren, sollen Geräte berücksichtigt werden, die automatisch, vorzugsweise während Niedertarif-Zeiten, arbeiten. Mit Nachtspeicheröfen und festen Nachtтарifen wurde dies bereits vor Jahrzehnten realisiert, moderne Systeme können jedoch flexibler und intelligenter arbeiten, was insbesondere für die Einbeziehung erneuerbarer Energien wichtig ist. Die Analyse und Optimierung der gewählten Anlagentechnik sollen im skizzierten Projekt besonders betrachtet werden.

Die Notwendigkeit zur Energiespeicherung resultiert aus dem Umstand, dass elektrische Stromnetze keine elektrische Energie speichern können und daher der Verbrauch und die Energiegewinnung in Kraftwerken immer im Gleichgewicht sein müssen. Durch Abweichung vom Gleichgewichtszustand kommt es zu Netzstörungen und im Extremfall zu einem Netzzusammenbruch. Ein Großteil der herkömmlichen Kraftwerke kann, technologisch und prinzipbedingt, nicht entsprechend schnell genug auf Verbrauchsschwankungen reagieren bzw. bei kurzzeitigen hohen Verbrauchsspitzen schnell genug Leistung zur Verfügung stellen. Diese Aufgaben übernehmen Speicherkraftwerke. Sie sind neben dem Energiespeicher technisch so gestaltet, dass sie in möglichst kurzer Zeit bedarfsmäßig elektrische Leistung liefern können.

Die Speicherung von elektrischer Energie ist bislang nur in großen Einheiten (wie Pumpspeicherkraftwerken) wirtschaftlich. allerdings führt jeder Speichervorgang zu einem Energieverlust. Dieser Verlust könnte bei direkter Wärmespeicherung und -nutzung im Gebäude ohne erneute Umwandlung in elektrischer Energie geringer ausfallen. Durch die Analyse des Betriebsverhaltens des Warmwasserspeichers und der Batterie

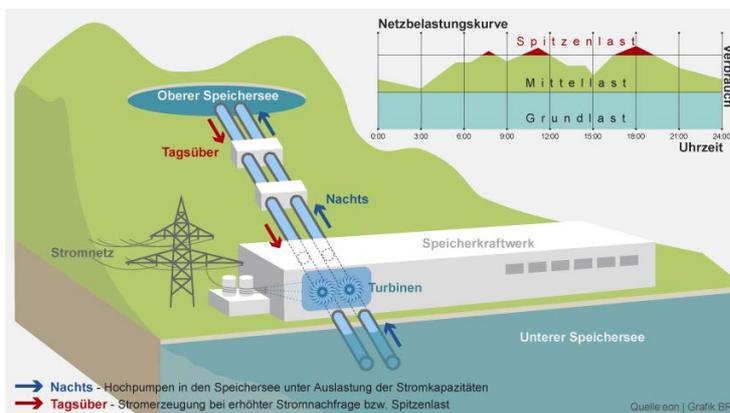


Abbildung 23: Schematische Darstellung des Wirkungsprinzips eines Pumpspeicherkraftwerks

werden auch hier neue Erkenntnisse über ökonomische und ökologische Relevanz der Speichersysteme möglich sein.

Das Projekt dient der Optimierung und Untersuchung der Gesamtspeicherfähigkeit mithilfe eines HECs unter Verwendung von möglichst „schlanker“ Anlagentechnik bei wirtschaftlich optimierten Investitions- und Betriebskosten. Dies wurde bislang noch nicht untersucht und stellt einen innovativen Ansatz des Projektes dar. Durch die Programmierung des HECs wird die komplette Haustechnik der Kindertagesstätte gemanagt und so gesteuert, dass die Anlage dann Strom nutzt, wenn bei Sonnenschein und Wind besonders viel regenerativ erzeugte Energie zur Verfügung steht. Dabei verwendet der HEC auch Daten von Wettervorhersagen und historische Verbrauchswerte. Um auch zu anderen Zeiten den Energiebedarf zu decken, soll auch das Gebäude selbst – ganz besonders der Fußboden – als Energiespeicher fungieren. Der Home Energy Controller kann aber noch mehr: er wird schon jetzt so ausgelegt und programmiert, dass er als Schaltstelle zwischen einer Vielzahl von miteinander vernetzten Gebäuden und dem örtlichen Stromnetz den Stromfluss optimieren und stabilisieren kann.

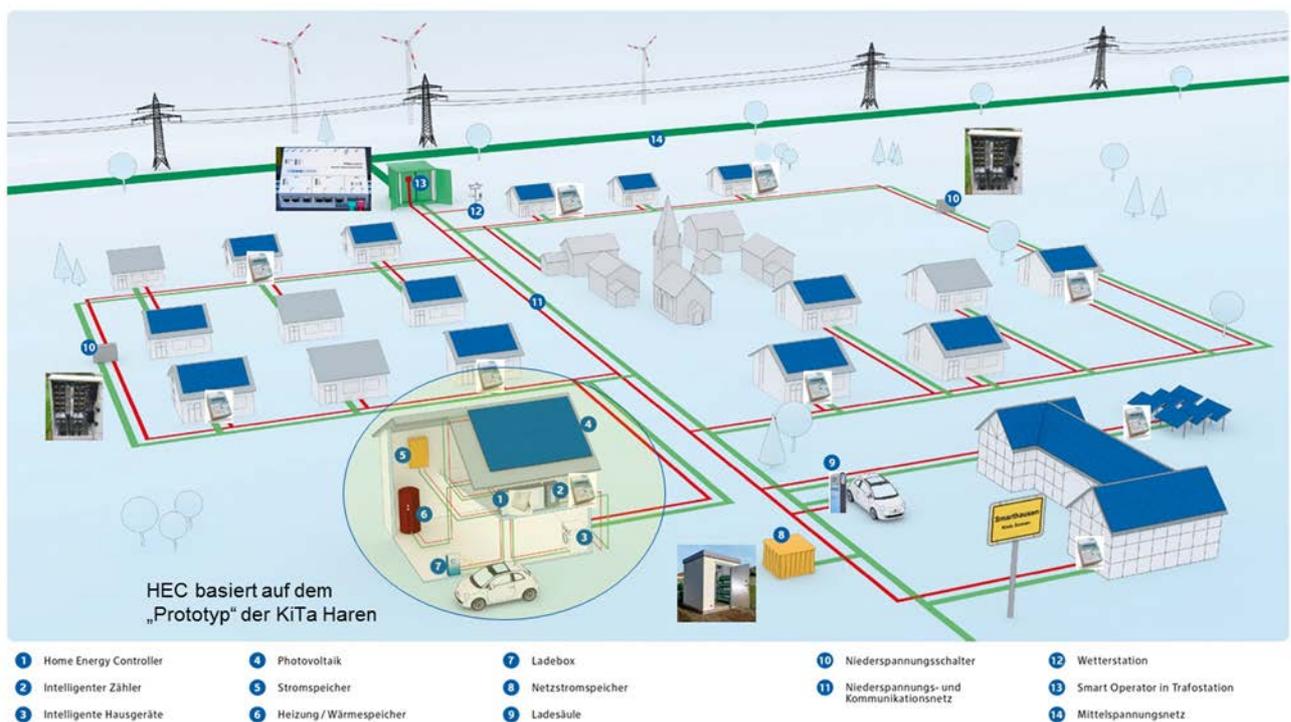


Abbildung 24: Schematische Darstellung der intelligenten Steuerungstechnik im übergeordneten Netz mittels "Smart Operator"

Indem die Verbrauchsgeräte möglichst in Zeiten hoher Sonneneinstrahlung angesteuert werden, sorgt die intelligente Technik dafür, dass vorrangig der selbst erzeugte Strom genutzt wird. Im Falle von Engpässen wegen zu viel oder zu wenig Einspeisung anderer Photovoltaik- und Windenergieanlagen in das Stromnetz kann die Kindertagesstätte Hilfestellung leisten, indem der Verbrauch und die Einspeisung angepasst werden. In Haren (Ems) wird der HEC erstmals deutschlandweit getestet und fügt sich in das Energiewendeprojekt „Smart Operator“ der RWE Deutschland zur Steuerung von Energieflüssen in Netzen ein.

Im Rahmen des Projektes wurde ein dezentrales Netzsteuerungskonzept konzipiert, welches zur Optimierung des Energieflusses in Niederspannungsnetzen beiträgt. Der Smart

Operator überwacht die im Ortsnetz auftretenden Spannungen und Betriebsmittelauslastungen und korrigiert selbständig Grenzwertverletzungen. Dabei analysiert der Smart Operator die Lastflüsse im Niederspannungsnetz und steuert angeschlossene Netzkomponenten zur Erreichung eines möglichst optimierten Energieflusses. Zu den angeschlossenen Netzkomponenten zählen beispielsweise Ortsnetztransformatoren, netzseitige Schaltmittel, elektrische Energiespeicher sowie in der Kita Haren entwickelte Home Energy Controller (HEC).

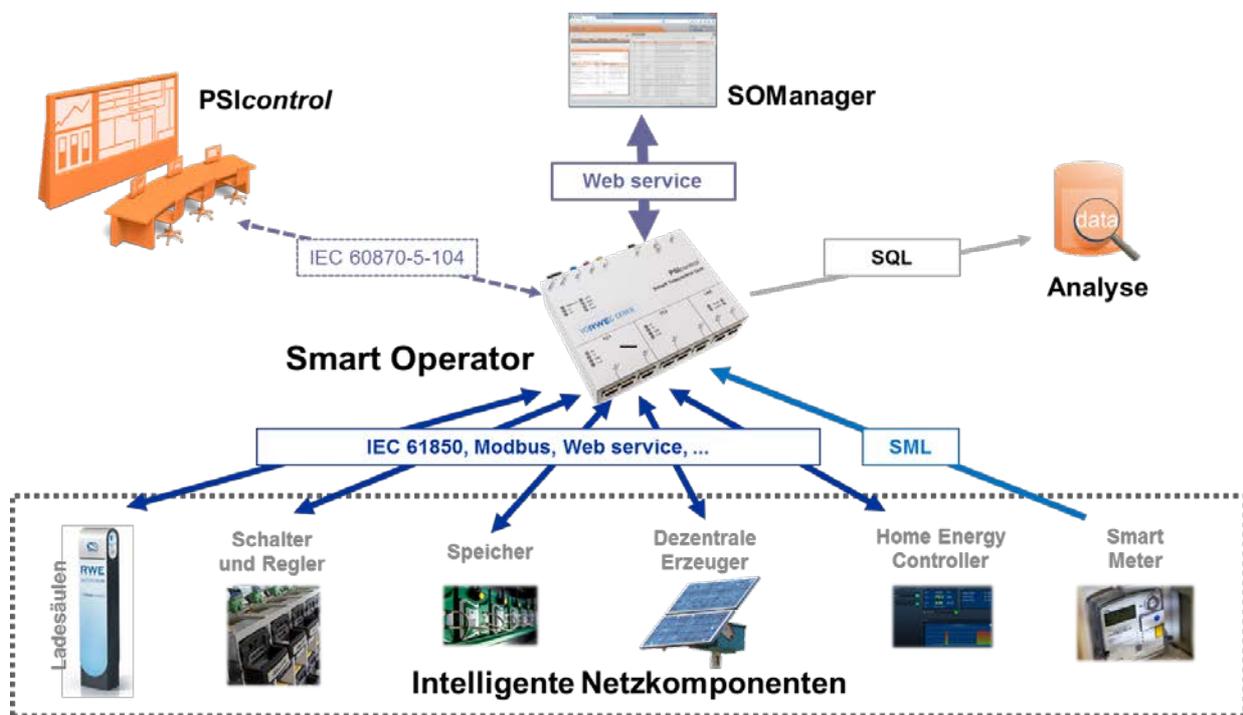


Abbildung 25: Smart Operator – Ein Konzept für die hierarchische Niederspannungsnetzführung

Der Smart Operator hat einen detaillierten Überblick über sein Ortsnetz und liefert detaillierte Netzzustandsdaten an den Smart Operator Manager. Die regionale Planung und der regionale Betrieb erhalten so über den Manager wichtige Informationen zum Betriebszustand des Netzes und der Betriebsmittel. Darüber werden aggregierte Daten aus dem Niederspannungsnetz zu Netzführungszwecken der Netzleitstelle bereitgestellt. Bei großflächigen Netzproblemen können bestimmte Vorgaben (z. B. Leistungsreduktionen) aus dem Netzleitsystem punktuell umgesetzt werden, so dass der Smart Operator mit seinen Komponenten zur Erhöhung der Netzstabilität beiträgt.

Der HEC wird in einem an das Niederspannungsnetz angeschlossenen Haushalt oder anderen Objekt, wie z. B. die Kita Haren, betrieben und hat die primäre Aufgabe, dem Smart Operator verfügbare sog. Flexibilitäten zu avisieren und auf Anfrage zur Verfügung zu stellen.

Als Flexibilitäten werden hier Verbraucher oder Erzeuger definiert, deren Betrieb durch den Smart Operator beeinflusst werden kann und die über eine definierte Ein- oder Ausschaltung bzw. Betriebszeit zum Energieverbrauch oder der Energieerzeugung des Haushalts beitragen. Dazu zählen bspw. Haushalts- und Smart Home-Geräte, Wärmepumpen, Warmwasser- und elektrische Speicher, PV-Anlagen, MikroKWK-Anlagen und Ladeboxen für

Elektromobile. Die Schaltung einer Flexibilität beeinflusst die Energieaufnahme oder -abgabe des Haushalts aus dem Niederspannungsnetz und unterstützt somit die Aufgabe des Smart Operators.

Zur Bereitstellung der Flexibilitäten analysiert und optimiert der HEC den Haushalt bzw. das jeweilige Objekt energetisch. Dabei wird der Verbrauch von elektrischer Energie im Haushalt durch den HEC bestmöglich auf die dezentral erzeugte oder gespeicherte Energie abgestimmt, sofern lokale Erzeugungseinheiten und Speicher betrieben werden. Insofern wird der Energiebezug am Hausanschluss minimiert, was den Eigenverbrauch des Haushalts optimiert und beispielsweise durch eine minimierte Einspeisung zur Entlastung des Niederspannungsnetzes beiträgt. Sind keine Erzeugungs- und Speichereinheiten installiert, so analysiert der HEC lediglich die Nutzung und die Lastprofile der angeschlossenen Verbraucher. Nach erfolgter Optimierung erkennt der HEC mögliche Zeiträume, in denen Flexibilitäten ohne Komforteinbuße für den Bewohner oder Endkunden geschaltet werden können.

Flexibilitäten werden in Form von Profilen über eine Datenschnittstelle an den Smart Operator gemeldet.

#### Lastverschiebung durch steuerbare Haushaltsgeräte

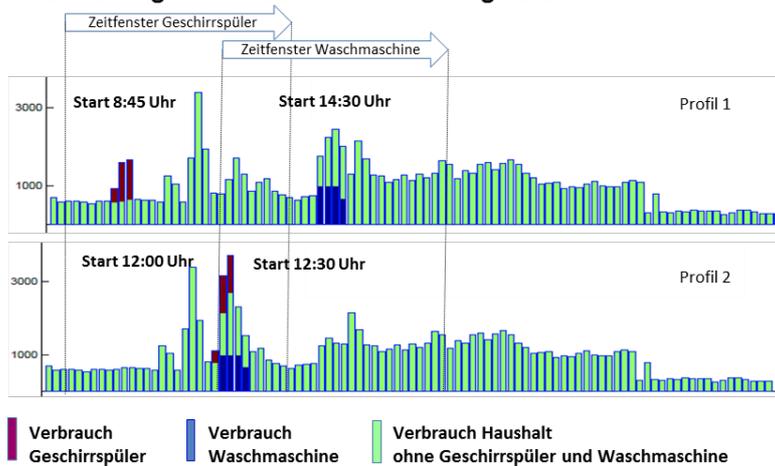


Abbildung 26: Netzoptimierung durch Nutzung von flexibel steuerbaren Haushaltsgeräten

Diese Profile enthalten Zeiten mit Angaben zur Lastaufnahme und Einspeiseleistung des Haushaltes. Der Smart Operator kann nun seinerseits die gemeldeten Flexibilitäten zur Determinierung eines optimalen Lastflusses im Netz nutzen und diese bei Bedarf über den HEC abrufen, der bei Aktivierung der Flexibilitäten durch den Smart Operator entsprechende Schaltvorgänge bei den angeschlossenen und steuerbaren Geräten im Haushalt initiiert.

Da ein intelligentes Stromnetz sämtliche Akteure auf dem Strommarkt einbeziehen muss, kann eine Gruppe von Gebäuden mit Speichersystemen gerade in Regionen mit vielen kleineren dezentralen Energieerzeugern, die unregelmäßig direkt in die unteren Spannungsebenen einspeisen, ein Gleichgewicht schaffen, mit dem eine zusätzliche Regulierungsmöglichkeit im Rahmen der intelligenten Stromnetze erreicht werden kann.

Durch das Monitoring der Daten sowie das gesamte Energiemanagement unter Einbeziehung der Anlagenkomponenten, vor allem der PV-Anlage, des Batteriespeichersystems und der haustechn. Geräte, sollen neue Erkenntnisse über lokale Verbrauchs- und Erzeugungsstrukturen, deren Flexibilitäten und der Nutzung im Kontext übergeordneter Ziele (wie Glättung der Einspeisespitze auch im vorgelagerten Netz) bringen.

Sofern es gelingt, mittels einer intelligenten Speicherung und einer effizienten Steuerung der Netze eine möglichst langfristige Abkopplung von Verbrauchern wie z. B. der Heizungsanlage vom Netz ohne Komforteinbußen für den Menschen zu erreichen, kann das Objekt als Referenzprojekt für eine Vielzahl von dezentralen größeren Verbrauchern im Sinne von öffentlichen Gebäuden fungieren. In der Form eines Leitfadens (z. B. BNB Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes) könnten die aus dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse zu konkreten baulichen Umsetzungsempfehlungen für öffentliche Neubauprojekte führen.

## 2.5 Maßnahmen zur Verbreitung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Maßnahmen zur Verbreitung der im Projekt erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse dargestellt. Zuerst wird dargestellt wie der Kindergarten selber als Multiplikator verwendet wird und anschließend wird eine Übersicht über externe Publikationen und Präsentationen gegeben.

### 2.5.1 Präsentation in der Kindertagesstätte

Zur Veranschaulichung der Gebäudekennwerte wurde ein Informationsbildschirm im zentralen Foyer installiert.

Dieser besteht aus einem großen Display, um die einzelnen Daten anschaulich zu machen. So wird z. B. der aktuell erzeugte Strom durch die PV-Anlage in einem Diagramm dargestellt, als auch der aktuelle Verbrauch der gesamten KiTa. Dabei wurde auch an die Kinder der KiTa gedacht. Diese können an einem rot



oder grün gefärbten Haus schnell erkennen, ob gerade genug Strom produziert wird (grün), um alle Stromabnehmer zu versorgen oder ob noch zusätzlich Strom aus dem Stromnetz bezogen werden muss (rot). Weiterhin werden aktuelle Fotos der KiTa in einer Diashow dargestellt sowie der Menüplan für die laufende Woche wiedergegeben. Mit einem Ticker werden wichtige Nachrichten für die Eltern zur Verfügung gestellt.

Um die Multiplikator Wirkung der Kindertagesstätte optimal nutzen zu können und das Thema des ressourcenschonenden Umgangs mit Energie einem breiten Publikum zugänglich zu machen, sind während und nach der Erstellung und Evaluation des Projektes Präsentationen und Besichtigungen für Fachleute, Bürger, Mitarbeiter, Eltern und Kinder durchgeführt worden.

Im Laufe der Jahre 2014 - 2015 wurden für folgende Gruppen Führungen durchgeführt:

- Landkreis Emsland – Jugendausschuss - Sozialausschuss
- Kindergartenteam aus dem Stadtbereich Haren (Ems)
- Eltern
- Verschiedene Vereine
- Stadtrat
- Mitarbeiter der RWE
- Mitarbeiter der Stadtverwaltung
- Verschiedene Architektenbüros
- Kindertagesstätten-Leitungen aus dem Umkreis
- Besuchergruppe der VHS Lingen

## 2.5.2 Vorträge und Publikationen

### Ingenieure und Projektpartner:

- Das Projekt wurde auf der Konferenz „CIRED-Electricity Distribution Systems for a Sustainable Future“ in Stockholm (10-13 Juni 2013) vorgestellt. Die Publikation [BNR13] sowie das Poster zur Konferenz enthalten den wissenschaftlichen Hintergrund und Informationen zur mathematischen Optimierung, z. B. zur Glättung der Energieprofile. In einer zweiten Publikation auf dieser Konferenz wurde das relationierte „Smart Operator“ Projekt vorgestellt [WNN13]. In diesem Paper und dem dazugehörigen Poster wird auch Bezug auf den HEC genommen. Eine weitere Publikation ist seitens der Universität Twente geplant, in der die Herausforderungen und Lösungsmöglichkeiten einer Implementierung eines dezentralen Energiemanagements in einer realen Umgebung behandelt werden sollen.
- Im Rahmen einer Vortragsserie des Architekturforums Nordhorn wurde am 13.06.2013 das Projekt der Kindertagesstätte in Haren vorgestellt (siehe auch <http://www.nordhorn.de/magazin/artikel.php?artikel=877&menuid=45>). Der Architekt Ralf Wömpner vom Architektenbüro hartwig | wömpner architekten BDA aus Münster stellte das Gebäude der Kindertagesstätte und seine energetische Bauweise vor und Prof. Dr. Johann Hurink von der Universität Twente in Enschede stellte in einem Vortrag mit dem Thema „Welche Gebäude benötigt die Energiewende“ das Konzept eines dezentralen Energiemanagements am Beispiel der Kindertagesstätte Haren vor.
- Das Projekt der Kindertagesstätte wurde des Weiteren in einigen Übersichtsvorträgen von Prof. Dr. Johann Hurink auf Tagungen und anderen Veranstaltungen als ein Praxisbeispiel für den Einsatz eines Home Energy Controllers aufgenommen:
  - „Smart Grids – Math inside?“; 3TU Conference; Eindhoven, The Netherlands; 6 Dezember 2013.
  - „Without Smart control no sustainable energy supply“; An Innovative Truth VI - Congres: Duurzaamheid, Sleutel tot success; Kasteel de Haar Haarzuilens, The Netherlands; 10 juni 2014.
  - „Smart Grids“; Studium Generale: Het podium voor kennis; Enschede, The

- Netherlands; 17 März 2015.
  - „Scheduling for Decentralized Energy Management“; MISTA 2015; Prag, Tschechien; 27 August 2015.
- Der im Projekt Kita Haren entwickelte Baustein „HEC“ wurde in mehreren Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes Smart Operator publiziert. U. a. auf folgenden Veranstaltungen:
  - Smart Operator - RWE Deutschland realisiert das intelligente Stromnetz in der Niederspannung; 15. Jahrestagung Mess- und Zählwesen 2015 in Düsseldorf, 28.02.2015
  - Smart Operator - RWE realisiert das intelligente Stromnetz in der Niederspannung; 6. Fachtagung Energie, Schaltanlagen und Netzstationen für die Energieverteilung, Karlsruhe, 11.11.2015 bis 12.11.2015
  - Zwischenbilanz im bundesweit einmaligen Smart-Operator-Projekt „Smart Operator“ in der Wertachau, 09.12.2015, Fernsehbeitrag BR
  - Intelligenz für das Netz vor Ort - Smart Operator; FNN-Fachkongress „Netztechnik“, Nürnberg, 02.12.2015
  - Smart Operator Intelligenz für das Netz vor Ort; RWE Deutschland Hochschuldialog, 26.10.2015 in Essen

#### Stadt Haren (Ems):

- Radio-Beitrag RWE vom 31.08.2012 beim Sender „Ems-Vechte-Welle“
- Radio-Interview mit Stadtbaurat Thimo Weitemeier vom 12.06.2013 beim Sender „NDR“
- Eine Broschüre wurde von der Stadt Haren (Ems) in Zusammenarbeit mit den Planungsbeteiligten entwickelt und gedruckt in einer Auflage von 500 Exemplaren zwecks Auslage am Kita-Eröffnungstermin am 03.12.2013
- Offizielle Einweihung des Neubaus der Marien-Kita am 03.12.2013
  - Teilnahme zahlreicher Medienvertreter
  - Versand Medieninformation „Einweihung der Marien-Kindertagesstätte“
  - Sonderveröffentlichung in der Meppener Tagespost
  - Zeitungsbericht „Energiewende in der Hightech-Kita“ in den Grafschafter Nachrichten
- Veröffentlichung des Artikels „Blackout“ Seite 50 ff. in der Zeitschrift „Capital“, Ausgabe 02/2014 (Text: Thomas Steinmann und Jacob Schlandt; Fotos: Werner Amann)
- Einbindung eines Elektroautos in Forschungsprojekt am 14.11.2014
  - - Medieninformation „Kita Haren klimaschonend unterwegs“
- Ein Jahr Forschungsprojekt Marien-Kita am 08.12.2014
  - Pressegespräche vor Ort

- Gemeinsame Presseinformationen RWE und Stadt Haren (Ems)
- Pressebericht "Energiewende in der Kindertagesstätte" in der Meppener Tagespost vom 09.12.2014
- Pressekommentar "Ein großes Vorhaben" in der NOZ vom 09.12.2014
- Sonderausgabe "smarte Seiten" Winter 2014 Seiten 4+5 der RWE

### Auswahl diverser (aktuell noch abrufbarer) Internet-Presselinks

#### NWZ:

- [http://www.nwzonline.de/wirtschaft/weser-ems/energiewende-beginnt-im-kindergarten\\_a\\_1,0,749688065.html](http://www.nwzonline.de/wirtschaft/weser-ems/energiewende-beginnt-im-kindergarten_a_1,0,749688065.html)

#### Neue Presse:

- <http://www.neuepresse.de/Nachrichten/Niedersachsen/Uebersicht/Harener-Kindertagesstaette-als-Energiespeicher>

#### NOZ:

- <http://www.noz.de/lokales/haren/artikel/492482/intelligente-technik-im-kindergarten-haren-erika>
- <http://www.noz.de/video/3382/Energiewende-beginnt-in-der-Kita>
- <http://www.noz.de/video/3330/Energiewende-beginnt-in-der-Kita>
- <http://www.noz.de/lokales/haren/artikel/433040/neue-kita-in-haren-erika#gallery&20524&0&433040>
- <http://www.noz.de/lokales/haren/artikel/432964/harener-kita-wird-zum-energiespeicher#gallery&20524&0&432964>

#### ev1.tv:

- [http://www.ev1.tv/nachrichten--wetter/ev1tvaktuell/ev1tv-aktuell---9-dezember-2014\\_26167](http://www.ev1.tv/nachrichten--wetter/ev1tvaktuell/ev1tv-aktuell---9-dezember-2014_26167)
- [http://www.ev1.tv/nachrichten--wetter/beitraege/kita-mit-intelligenter-technik\\_26155](http://www.ev1.tv/nachrichten--wetter/beitraege/kita-mit-intelligenter-technik_26155)
- [http://www.ev1.tv/nachrichten--wetter/ev1tvaktuell/ev1tv-aktuell---02102012\\_23869](http://www.ev1.tv/nachrichten--wetter/ev1tvaktuell/ev1tv-aktuell---02102012_23869)

#### Ems-Vechte-Welle:

- <http://www.emsvechtewelle.de/news/123-haren-baut-kita-als-energiespeicher.html>

#### RWE:

- <http://www.rwe.com/web/cms/de/289390/rwe-deutschland-ag/presse/pressemitteilung/?pmid=4008307>

#### BILD:

- <http://www.bild.de/regional/hannover/hannover-regional/harener-kindertagesstaette-als-energiespeicher-25944470.bild.html>

### 3 Fazit

Das Basiskonzept bietet Einspar- und Innovationspotential sowohl auf Stromnetzbetreiberseite, als auch auf Nutzerseite. Betrachtet man die Energieverbräuche der letzten Jahre, so sind jedoch noch keine Rückgänge im Stromnetzbezug zu erkennen. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass etliche Komponenten erst im Laufe dieses Jahres vollständig in den Home Energy Controller integriert worden sind. Ferner wurde im Laufe des Projekts festgestellt, dass etliche Komponenten in ihrer heutigen Form nur beschränkt nutzbar sind für eine Ansteuerung im Rahmen eines dezentralen Energiemanagements. Man kann somit resümieren, dass sich die erwarteten Einsparungen auf Betreiberseite bis dato aufgrund der noch laufenden Anpassungen der Ansteuerung der Geräte und der Prognoseverfahren noch nicht entfalten konnten. Das aktuelle Projekt hat aber dazu beigetragen, dass ein erstes einsetzfähiges Kontrollsystem erstellt und eingesetzt wurde, und dass Hindernisse für eine bessere Integration und Abstimmung identifiziert und zum Teil auch schon behoben wurden. Auf Stromnetzbetreiberseite wurden der in diesem Projekt erstellte Home Energy Controller in einem anderen Projekt (Smart Operator) eingesetzt um das Potential eines koordinierten dezentralen Energiemanagements für die Stabilisierung des Verteilnetzes zu erforschen.

Das aktive Management von Flexibilität im Ortsnetz zur effizienteren Auslastung des vorhandenen Netzes wurde durch den Smart Operator-Ansatz ermöglicht. Im Rahmen des Projektes wurden die technischen Komponenten geplant, entwickelt und getestet und unter Realbedingungen in unterschiedlichen Testnetzen mit verschiedenen Netztopografien und Bausteinen betrieben.

Die künstliche Intelligenz des Smart Operators (SmOp) schafft Transparenz durch die Aufnahme der Netzzustände über die Verbrauchs-, Erzeugungs- und Wetterdaten und entwickelt daraus fortlaufend Einspeise- und Lastprognosen. Der selbstlernende Algorithmus optimiert und steuert das Netz mit Maßnahmen gegen etwaige Netzengpässe oder Spannungsbandverletzungen und schöpft das Netzpotenzial mit intelligenter Netzkomponenten und smarterer Haustechnik, wie in der Kita Haren realisiert, aus.

Der SmOp steuert regelbare Ortsnetztrafos, Netzspeicher, Niederspannungsschalter und managt Ladesäulen und Home Energy Controller (HEC). Der HEC kann Flexibilität aus einem Haushalt durch Ansteuerung z. B. von Weißer Ware, Wärmepumpen, Warmwasser- und elektrischen Speichern, Photovoltaikanlagen und Ladeboxen für E-Fahrzeuge netzdienlich bereitstellen.

Der SmOp bietet eine Lösung für eine optimierte Netzausbauplanung und effizienten Netzbetrieb. Er erfüllt die technischen Voraussetzungen für neue, ganzheitliche, markt- und kundenorientierte Produkte und Dienstleistungen im Netz.

Das System läuft stabil und zuverlässig, Spannungsschwankungen und Stromflüsse werden ausgeglet und über 30 Prozent des überschüssigen Solarstroms durch Speicherung und Lastverschiebung vor Ort genutzt.

Die ersten Ergebnisse hier zeigen, dass ein Potential vorhanden ist, dass aber noch weitere

Entwicklungen nötig sind, um dieses Potential weitergehender zu nutzen.

## Literaturverzeichnis

[Bak12] Bakker, V. (2012) Triana: a control strategy for Smart Grids: Forecasting, planning & real-time control. PhD thesis, University of Twente. CTIT Ph.D.-thesis series No. 11-215 ISBN 978-90-365-3314-0.

[BNR13] Bakker, V. and Nykamp, S. and Reinelt, J. and Molderink, A. and Hurink, J.L. and Smit, G.J.M. (2013) Controlling and optimizing of energy streams in local buildings in a field test. In: 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, CIRED 2013, 10-13 Jun 2013, Stockholm, Sweden. pp. 1-4. IET Digital Press. ISBN 978-1-84919-732-8

[Bos11] Bosman, M.G.C. (2012) Planning in Smart Grids. PhD thesis, University of Twente. CTIT Ph.D.-thesis series No. 11-226 ISBN 978-90-365-3386-7.

[Mol11] Molderink, A. (2011) On the three-step control methodology for Smart Grids. PhD thesis, University of Twente. CTIT Ph.D.-thesis series No. 11-196 ISBN 978-90-365-3170-2.

[WNN13] Willing, S. and Nilges, J. and Nykamp, S. and Smolka, T. and Matrose, C. and Schnettler, A. and Stolte, A. (2013) Improving quality of supply and usage of assets in distribution grids by introducing a "Smart Operator". In: 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), 10-13 June 2013, Stockholm, Sweden. pp. 1-4. IET Digital library. ISBN 978-1-84919-732-8.