

Erforschung und Entwicklung nachhaltiger Energiesysteme am Institut für Energiesystemtechnik der Hochschule Offenburg

Die Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der ressourcenschonenden und zukunftsweisenden Technologien haben an der Hochschule Offenburg Tradition. Die Forschungsgruppe für nachhaltige Energietechnik (fgnet) unter der Leitung von Prof. Elmar Bollin forscht bereits seit 1999 an nachhaltigen Energiesystemen. Mit der Gründung des Instituts für Energiesystemtechnik - **INES** der Hochschule Offenburg im April 2012 bekam die fgnet ein institutionelles Dach. Die Räumlichkeiten inklusive eines Technikums befinden sich im Georg-Dietrich-Kollegiengebäude auf dem Campus Nord in Offenburg Bohlsbach. Durch die großzügige Unterstützung von Dr. Georg Dietrich, der unerwartet Anfang des Jahres verstarb, wurde eine ehemalige LKW-Werkstatt der Dietrich Logistik GmbH nach umfangreichen Renovierungsarbeiten durch das INES wieder mit Leben gefüllt.

Unter der Leitung von Prof. Elmar Bollin forschen derzeit sieben Mitarbeiter am INES. Ziel des Instituts ist die angewandte Forschung im Bereich der nachhaltigen Energiesystemtechnik. Hierzu zählen insbesondere Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz sowie Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energien. Die thematischen Schwerpunkte sind solarthermische Großanlagen, Hybrid-Energiesysteme, energieeffiziente Gebäude, prädiktives Energiemanagement sowie Anlagen-Monitoring.

Neue Möglichkeiten zur Errichtung von Prüf- und Testständen sind durch ein geräumiges Technikum und Platz im Freien gegeben. Der Hochschulstandort Campus Nord bietet des Weiteren Raum für die angewandte Lehre. Studierende, insbesondere des Studiengangs Energiesystemtechnik, absolvieren hier Laborpraktika und fertigen Abschlussarbeiten zu laufenden Projekten an.

Arbeitsgebiete

Als kleines Institut kann das INES ein breites Spektrum von Erfahrungen aus aktuellen und abgeschlossenen Projekten anbieten. Die Arbeitsgebiete umfassen solarthermische Großanlagen, Hyb-

rid-Energiesystem, energieeffizientes Heizen, Kühlen und Betreiben von Gebäuden, prädiktive Steueralgorithmen auf der Basis von Wetter- und Nutzungsprognosen für das Energiemanagement sowie das Monitoring von Energiesystemen.

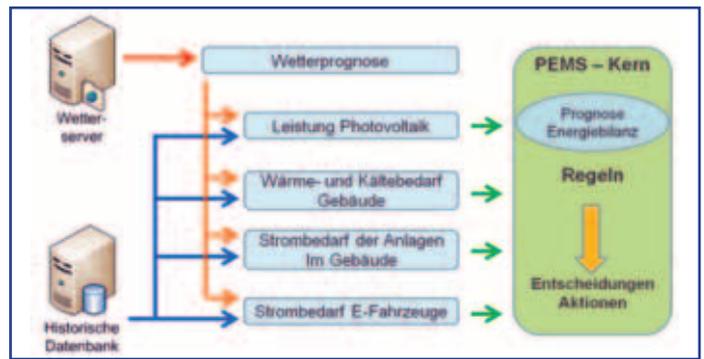
Im Rahmen des Forschungsvorhabens Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus hat die Forschungsgruppe net über zehn Jahren zehn **Solarthermische Großprojekte** begleitet. Mit Hilfe eines umfangreichen Anlagenmonitorings konnten Vergleichszahlen/Benchmarks ermittelt und Vorschläge zur Optimierung von Anlagen erarbeitet werden. In dem wissenschaftlich-technischen Begleitprogramm werden die Solaranlagen von der Idee über die Realisierung bis hin zu einem mehrjährigen Betrieb von einer unabhängigen Stelle begleitet. Die von der fgnet betreuten Anlagen dienen der Trink- und Schwimmbadwassererwärmung oder der Einspeisung in ein Nahwärmenetz zur Raumheizung und Kälteerzeugung. In einem laufenden Projekt wird ein Anlagen-Monitoring eines Solarsystems zur Prozesswärmebereitstellung für einen Absorptionskälteprozess durchgeführt.

Mit der Energieinsel, bestehend aus einem Solargenerator, einem Windkonverter und einem Gas-BHKW, wurden an der Hochschule Offenburg bereits im Jahr 1997 die Grundlagen für die Forschung und Ingenieur-



Süd-Westansicht des Georg-Dietrich-Kollegien-Gebäudes in Offenburg Bohlsbach, Standort des INES

ausbildung im Bereich Systemtechnik von Solarstromanlagen geschaffen. Erweitert wurde das **Hybrid-Energiesystem** 2001 mit Anlagen- und Steuertechnik zu einem Teststand für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen. Zur Erfassung der Witterungsbedingungen für den Betrieb der Testanlagen wurde die Messtechnik um eine meteorologische Station erweitert. 2010 wurde ein Lernbereich für Studierende mit Beleuchtung und Energieversorgung von Notebookarbeitsplätzen als Verbraucher für die Energieinsel konzeptioniert, auslegungstechnisch umgesetzt und in eine Automationsumgebung programmiert. Im Rahmen der INES-Aktivitäten wurde diese Lernecke 2013 als Demonstrationssystem aufgebaut und in Betrieb genommen.



Schema des Prädiktiven Energiemanagements (PEMS)

Neben dem Wechselstromnetz der Energieinsel am Hauptcampus der Hochschule Offenburg entsteht am Standort Campus Nord ein komplexes 3-phasig ausgelegtes Stromnetz als Smart Grid, das aus erneuerbaren Energiequellen gespeist wird. Drei Photovoltaikgeneratoren sorgen mit je 2,16 kW Peakleistung für einen bedeutenden Beitrag aus der Solartechnik. Für die Zwischenspeicherung der Energie wird eine stationäre Batterie geladen, Wasser über einen Elektrolyseur in die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff getrennt oder der Akku eines Elektrofahrzeuges „betankt“. Als weitere Verbraucher können drei Büros des Dietrich-Kollegien-Gebäudes in das Stromnetz integriert werden. Bei Dunkelheit oder Bewölkung kann, bei entsprechender Energienachfrage, der gespeicherte Wasserstoff mit einer Brennstoffzelle wieder in Strom umgewandelt werden. Die intelligente Steuerung der einzelnen Komponenten erfolgt über ein prädiktives Energiemanagement welches Wetter-, Bedarfs- und Nutzungsprognosen berücksichtigt.

Nachhaltige Gebäudekonzepte bringen Energieeffizienz, Ressourcenschonung, Wirtschaftlichkeit und Wohn- bzw. Arbeitsplatzqualität in Einklang. An der Hochschule Offenburg hat die klassische Versorgungstechnik eine lange Tradition. Die Gebäudeautomation ist neben der Architektur und der Technologie zur Energieversorgung einer der Schlüssel zu einem intelligenten Gebäudebetrieb. Ihre Aufgabe muss sein, unter Einhaltung der Komfortbedingungen, die Nutzenergie so effizient wie möglich einzusetzen und fossile Energieträger wo immer möglich zu vermeiden.

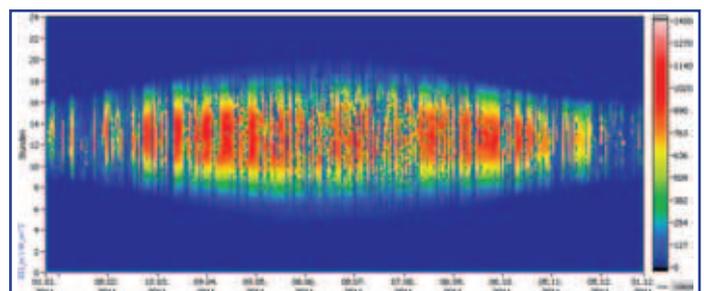
Die Aktivitäten am INES reichen von Laboruntersuchungen an Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung über das Energie- und Klimamonitoring in Gebäuden und die Weiterentwicklung von Datenbanken zur Verwaltung umfangreicher Messdatenbestände bis hin zur Modellierung gebäudetechnischer Systeme. In einem laufenden Projekt zum neuen Seminargebäude E der Hochschule Offenburg werden prädiktive Algorithmen in die Gebäudeautomation integriert.

Der zunehmende Ausbau an erneuerbaren Energiesystemen führt mit seiner fluktuierenden Energiegewinnung zu Spitzen und Schwankungen, die sich negativ auf die Netzstabilität auswirken. Ausgleichende Effekte bei der Spannungs- und Frequenzstabilisierung des Netzes werden hauptsächlich durch die Einbindung von Energiespeichern und einem intelligenten Lastmanagement erreicht. Autonom arbeitende **prädiktive Energiemanagementsysteme PEMS** optimieren dabei die Energieströme im Gesamtsystem.

Das PEMS steuert den Energiefluss in Gebäuden so, dass die Netzeinspeisung sowie der Netzbezug verstetigt werden und damit das gesamte öffentliche Stromnetz geschont wird. Mit der Nutzung von Wetterprognosen können dann beispielweise Heiz- oder Kühlenergie rechtzeitig bereitgestellt oder Energieflüsse vorrausschauend gesteuert werden. Dieses ermöglicht, neben einem netzfreundlichen Verhalten des Gebäudes, außerdem die Bereitstellung einer Netzdienstleistung in Form von negativer und positiver Minutenreserve sowie die Maximierung des Eigenverbrauchs.

Das INES konnte in verschiedenen Projekten auch in der praktischen Anwendung zeigen, dass durch die Prognostizierung des Energiebedarfs eines Gebäudes für den Folgetag mit Hilfe von Wetter- und Nutzungsprognosen betonkernaktivierte Gebäude sowohl im Heiz- als auch im Kühlbetrieb mit minimaler beziehungsweise maximaler Vorlauftemperatur gefahren werden können und somit Systemlaufzeiten verringert werden konnten. Die Betriebszeiten der Anlagen konnten zum Beispiel im Gebäude der Elektror Airsystems in Filderstadt ohne Komfortverlust um 70 % gesenkt werden. Eine Weiterentwicklung dieser dynamischen Betriebsführung wurde im Effizienzhaus Plus in Berlin in einem Energiemanagementsystem (EMS) eingesetzt.

Die Forschungsgruppe net befasst sich seit ihrem Bestehen mit dem **Monitoring von Energiesystemen** und Gebäuden. Mit dem Anlagen-Monitoring lässt sich überprüfen, ob die geplante Leistung bzw. die berechnete Einsparung im realen Betrieb erreicht wird. Mit Hilfe bestehender Messtechnik, erweitert durch spezifische Sensoren, werden die Daten über mindestens zwei Jahre gesammelt. Mit den erfassten Daten lassen sich dann z.B. die Energieströme innerhalb der Systemgrenzen auswerten und darstellen. Des Weiteren kann das Monitoring einen Aufschluss über den Energiebedarf von Maschinen, Systemen oder ganzen Gebäuden, mit einer Aufschlüsselung nach einzelnen Ver-



Carpetplot Solareinstrahlung in W/m² über das Jahr 2011

brauchern, liefern. Nach der Analyse der Gesamtenergiebilanz kann, in Anpassung an die realen Bedarfsanforderungen, eine Optimierung vorgeschlagen werden.

Im Bereich Solarthermie wurden mehrere Projekte zur Trinkwassererwärmung, Nahwärmeversorgung, Prozesswärme und Kühlenergie bearbeitet. Beim Gebäudelangezeitmonitoring hat die Forschungsgruppe net Bürogebäude sowie Schulen überwacht und Optimierungskonzepte ausgearbeitet.

Aktuelle Forschungsaktivitäten

Die **solarthermischen Großanlage** (Brutto-Kollektorfläche von 503 m²) der Telekom AG in Rottweil wird vom INES seit 2008 wissenschaftlich technisch begleitet. Durch den Einsatz der Solaranlage wird ein Teil des für die Klimatisierung und für die Raumheizung benötigten Brennstoffs eingespart und eine Schadstoff- und Verbrauchskostenreduzierung erreicht. Die Kälte wird durch eine solarthermisch unterstützte Absorptionskälteanlage erzeugt. In diesem Projekt wird das Betriebsverhalten der Anlage durch ein Monitoring und einem eigens entwickelten Auswerteverfahren überwacht. Die kontinuierliche Auswertung der Messdaten bietet die Möglichkeit der Durchführung von Optimierungsmaßnahmen zur Verbesserung des Anlagenbetriebs und Steigerung der Nachhaltigkeit.

In dem Forschungsprojekt der **dezentralen Lüftung** untersucht das INES, welche Fassadensysteme sich am besten eignen, um Gebäude kostengünstig mit energieeffizienter Lüftung nachzurüsten. Hintergrund ist, dass bei der Gebäudedämmung zur Einsparung von Heizenergie die Gebäudehülle luftdichter und der Luftaustausch von Außenluft und Raumluft deutlich reduziert wird. Hierdurch kann sich die Raumluftqualität für den Nutzer verschlechtern.

Mindestens drei Typen von dezentralen Fassadeneinheiten sollen sowohl in Schulgebäuden als auch in sanierten Mietshäusern in unterschiedlichen Räumen untersucht werden. Die jeweilige Fassadenintegration soll auf ihre Eignung und Kosteneffizienz für die jeweiligen Objekte geprüft und bewertet werden. Hierbei gilt es die Erfüllung der Anforderungen für Luftwechsel, Feuchteaustrag, Lufthygiene und Energieeffizienz so zu erreichen, dass Gewinne einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle nicht durch den Lüftungsbetrieb kompensiert oder gar umgekehrt werden. Ziel des Vorhabens ist die Erweiterung des „Leitfaden für die Überhitzungsminderung an Schulgebäuden im südlichen Oberrheingraben“ aus dem Vorgängerprojekt zur natürlichen Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern.

Laut dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ der Bundesregierung sollen zum Jahr 2020 bis zu eine Million **Elektrofahrzeuge** auf Deutschlands Straßen fahren. Damit die CO₂-Bilanz

der Fahrzeuge geringer ist, als die von Autos mit Verbrennungsmotoren, ist eine Beladung mit regenerativem Strom zu bevorzugen.

Dafür wird ein Elektrofahrzeug in das 3-phasige INES-Stromnetz, als idealer Abnehmer des klimafreundlichen Stromes, zur Erforschung der Alltagstauglichkeit integriert. Um das E-Mobil kostensparend und netzschonend zu beladen, wird vom INES ein Lademanagement entwickelt und erprobt werden, das Wetterprognosen, die lokale Speicherkapazität, den Status des öffentlichen Netzes sowie die Nutzung berücksichtigt.



Lademanagementkonzept für das INES-Elektrofahrzeug

In drei Teilprojekten entwickelt das INES ein **Energienetzmanagement**. Im ersten Teilprojekt wird ein Netzmanagement für den Geflügelhof Zapf in Gengenbach erstellt. Auf dem Lebensmittelherstellungsbetrieb wird die Energieversorgung auf drei Holzvergaser umgestellt. Die Hochschule Offenburg baut dort ein Messsystem auf, mit dem der Energiebedarf der Produktion ermittelt wird. Anschließend erfolgt eine Modellierung des Netzes, das flexibel auf Strom- und Wärmebedarf reagieren kann. Im Testbetrieb entsteht ein Modell, das anschließend auf andere Kleinnetze angewandt werden kann. Im zweiten Teilprojekt wird für die Stadt Offenburg ein weiteres System entwickelt, um das städtische Teilnetz aus fünf BHKWs und kommunalem Gebäudepool wirtschaftlich und ressourcenschonend zu betreiben. Kombiniert mit den Ergebnissen der bei-



Solarthermie-Anlage der Telekom AG in Rottweil

den Teilprojekte wird das INES-Stromnetz, wie bereits beschrieben, am Campus Nord der Hochschule Offenburg entwickelt.

Am **Effizienzhaus Plus** mit Elektromobilität des BMVBS in Berlin entwickelte das INES ein Energiemanagement-System, das in der Lage ist die Energieströme im Gebäude, die Netzeinspeisung und den Netzbezug zu optimieren. Ziel ist die Minimierung des Netzbezugs durch einen möglichst hohen Eigenverbrauch der erzeugten Energie unter Minimierung von Speicherverlusten und einem optimalen Ertrag aus der Netzeinspeisung. Die Bereitstellung von Batteriekapazität als Regelenergie zur Stabilisierung des öffentlichen Netzes soll ebenfalls ermöglicht werden. Um dies zu realisieren wird ein Energiemanagement mit Hilfe von Systemmodellen und prädiktiven Verfahren erstellt, das die Vielzahl von Informationen erfasst, bereitstellt und verarbeitet. In einer zweiten Stufe erfolgt ein Monitoring mit einer Betriebsoptimierung.



Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität in Berlin

Ziel des Forschungsvorhabens **Prädiktive Algorithmen in komplexen Systemen der Gebäudeautomation** ist die Weiterentwicklung moderner prädiktiver Verfahren, mit der Fähigkeit zur Adaption an unterschiedliche Raumcharakteristiken. Lernfähige Algorithmen können sich durch den Einsatz moderner Verfahren (z.B. neuronale Netze, künstliche Intelligenz, modellbasierte Regelung) selbstständig an unterschiedlich genutzte Zonen im Gebäude anpassen. Auch durch Nutzungsänderungen bedingte Änderungen der Raumcharakteristik kann mit solchen Methoden ebenfalls automatisch reagiert werden. Der derzeit errichtete Neubau Gebäude E der Hochschule Offenburg ist als Demonstrationsobjekt in dieses Forschungsprojekt integriert.

Ausblick

Bis Ende des Jahres 2013 ist die Inbetriebnahme des INES-Stromnetzes vorgesehen. Neben der Inbetriebnahme der einzelnen Komponenten, wie Wasserstoffsystemeinheit, Photovoltaikgenerator, Batterie, E-Mobilladestation, die bereits teilweise erfolgt ist, benötigt die Automations- und Kommunikationsstruktur des Netzes Entwicklungsarbeit. Das Zusammenspiel der Datenerfassung von Zählern und Netzzuständen, der Regelung und Steuerung sowie Ertrags- und Bedarfsprognose gilt es in einem Energiemanagementsystem abzubilden. Die Generatorseite soll durch ein Windrad mit ca. 5 KW Peakleistung ergänzt werden.

Des Weiteren geht im Technikum des Campus Nord eine Klimakammer in Betrieb. Tests und Entwicklungen an Gebäudeelementen, Elektrofahrzeugen, Wärmepumpen und anderen Komponenten der Energiesystemtechnik sind geplant. Ergänzt ist die Klimakammer durch zwei thermische Prüfkammern für parallele Untersuchungen. Es werden prädiktive Steueralgorithmen für thermisch aktive Bauteilsysteme (TABS) entwickelt werden und in den Prüfkammern validiert werden.

Das INES ist bestrebt, sein Wissen und seine Kompetenzen auszubauen, aber auch neue Themen und Arbeitsgebiete zu integrieren bzw. zu erschließen. Der Blick in die Zukunft ist zuversichtlich wobei die Forschungslandschaft weiterhin aktiv beobachtet wird.

■ Autor ■ ■ ■

Jonas Meßmer M.Sc.

*Hochschule Offenburg
INES - Institut für Energiesystemtechnik*

*Badstr. 24
77652 Offenburg
Tel: +49 (0) 781 / 205 4661
Fax +49 (0) 781 / 205 454 661
E-Mail: jonas.messmer@hs-offenburg.de
www.hs-offenburg.de/ines*