

CO₂ – Rückgewinnung aus Abgasen

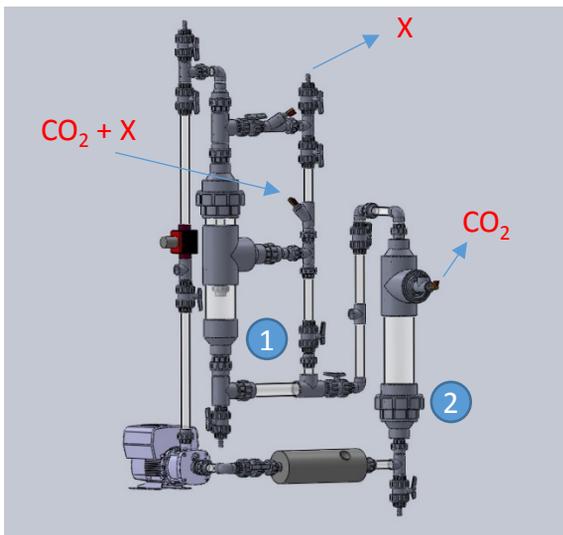
Prof. Dr. Matthias Brunner, M.Eng. Philip Schmit, Sergius Buck

Projektbeschreibung

Am DefiTechno wird derzeit ein Verfahren entwickelt, welches H₂O und CO₂ biologisch in Methan umwandelt (Methanisierung). Dabei kann das klimaschädigende Kohlenstoffdioxid aus einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen (z.B. Kraftwerks – und Industrieprozesse) entnommen, und durch das Verfahren eingespart werden. Mit Hilfe einer Druckwasserwäsche kann verunreinigtes Kohlenstoffdioxid durch eine Absorption von anderen Gasen getrennt und für weitere Prozessschritte genutzt werden.

Ziel

Die Gewinnung von Kohlenstoffdioxid aus CO₂ – Gasgemischen (CO₂ – X) durch eine Druckwasserwäsche. Das gewonnene CO₂ - Gas soll dabei möglichst wenig O₂ enthalten und soll zur Methanisierung eingesetzt werden.



Anlage zur CO₂ – Absorption durch Druckwasserwäsche

Vorgehensweise

Nach dem Prinzip des bereits vorhandenen BEST – Verfahrens (BioEnergySTorage) wird eine Anlage gebaut, die eine Druckwasserwäsche durchführt. In dieser wird zunächst ein CO₂ – X – Gasgemisch dem Reaktor ① zugeführt, welcher mit einem Absorptiv gefüllt ist. Dort wird das CO₂ unter erhöhtem Druck von diesem aufgenommen (Absorption), wobei das restliche Gas ungelöst zurück bleibt und entweichen kann. Das im Wasser gelöste CO₂ wird nun in den nachgeschalteten Reaktor ② geleitet. In diesem wird das Gemisch entspannt und das CO₂ löst sich (Desorption). Nun kann dieses entweichen und entnommen werden. Der Prozess findet in einem kontinuierlichen Kreislauf statt, der von einer Pumpe angetrieben wird.

Ergebnis

Das vom Absorptiv aufgenommene CO₂ löst sich bei der Desorption. Die Konzentration des entweichenden CO₂ wird mit einem Analysegerät gemessen und in einem Diagramm dargestellt.

Reaktion bei Druckwasserwäsche*:



Methanisierung (Sabatier – Reaktion):



Das aus der DWW* stammende CO₂ wird hier genutzt

Briketts aus biogenen Reststoffen zur Optimierung des Brennstoffmix in großtechnischen Verbrennungsanlagen

Prof. Dr.-Ing. C. Gierend; U.Schneider, M.Sc.; N. Strieder, B.Eng.; Steag New Energies; Juchem Gruppe; RUF

Projektbeschreibung

In diesem Forschungsprojekt werden biogene Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung zu Substitutionsbrennstoff für großtechnische Verbrennungsanlagen aufbereitet. Zu diesem Zweck werden Briketts unterschiedlicher Zusammensetzung in ausreichender Menge hergestellt und unter kontrollierten Bedingungen in einer Anlage zur thermischen Verwertung von Reststoffen oder Biomasse verbrannt. Der Verbrennungsprozess wird Messtechnisch begleitet und analysiert um in einem Optimierungsschritt die bestmögliche Abstimmung von Briketts auf einen gegebenen Brennstoffmix zu erreichen. Das Projekt mit einer Laufzeit bis Ende 2019 wird mit 308.000 € aus dem Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

Ziel

Die Hauptziele des Forschungsprojekts sind:

- Steigerung des Anlagenwirkungsgrades durch eine verbesserte Brennstoffqualität.
- Stärkung der regionalen Wirtschaft durch das Zusammenrücken von Produktion und Verwertung der Brennstoffe.
- Optimierung von Verbrennungsabläufen und Schadstoffentwicklung in Rostverbrennungsanlagen durch Beimischung geeigneter Zuschlagsstoffe.

Vorgehensweise

Um diese Ziele zu erreichen, kooperieren wir mit den Unternehmen Juchem aus Eppelborn, Steag New Energies aus Saarbrücken und RUF aus Zaisertshofen. Die Bedürfnisse von Verbrennungsanlagen werden untersucht und entsprechende Mischungen angefertigt. Der Rohstoff Haferschälkleie wird von Juchem zur Verfügung gestellt, mit Zuschlagsstoffen zur Schadstoffreduzierung und Abbrandoptimierung aufgewertet und in einer Brikettiermaschine der Firma RUF in die endgültige Form gepresst. Diese neuen Brennstoffe werden, begleitet durch eine Messkampagne, der Verbrennung zugeführt und das Ergebnis ausgewertet.



Gegenüberstellung von Video- und Infrarotaufnahme eines Verbrennungsrostes (eigenes Werk)

Ergebnis

Sondierende Forschungsprojekte unserer Arbeitsgruppe zeigten, dass die Brikettierung biogener Reststoffe neue Möglichkeiten zur sinnvollen Verwertung eröffnet und diese zu wertvollen Ersatzbrennstoffen macht. Um die Übertragbarkeit und das Verhalten in großtechnischen Feuerungen, wie z.B. Biomassekraftwerke, zu analysieren wurden in diesem Jahr mehrere Chargen Briketts mit unterschiedlicher Zusammensetzung angefertigt. Mechanische Tests zeigten gute Transport- und Lagerfähigkeit und bestätigten die Ergebnisse der Voruntersuchungen. Bis Ende des Jahres wird der Test in einer Verbrennungsanlage der Firma Steag New Energies erfolgen.



Eine Charge Briketts aus Haferschälkleie und Spänen (eigenes Werk)

Grafische Benutzeroberflächen für CFD

S. Weißkircher, Dipl.-Ing., G. Braun, Dipl.-Ing. (FH), Prof. Dr.-Ing. K. Kimmerle

Die numerische Simulation von strömungsbasierten Transportvorgängen (englisch Computational Fluid Dynamics, CFD) ist eine etablierte Methode zur Entwicklung und Optimierung von Produkten und Prozessen in Industrie und Forschung. In vielen Fällen ergänzen diese Simulationen reale Experimente, in manchen ersetzen sie diese mittlerweile komplett. Fehlentwicklungen können früher erkannt und erfolgversprechende



Abbildung 1: Experiment mit Feinrechen im Testkanal (links) und Simulation des Feinrechens (rechts)

Varianten in einer frühen Phase des Designprozesses optimiert werden. Die komplizierte Bedienung der Simulationssoftware und die damit verbundenen Personalkosten und/oder Lizenzgebühren behindern die breite Anwendung durch den Mittelstand. Deshalb verwendet das Institut für Physikalische Prozesstechnik (ipp-htw saar) für numerische Strömungssimulationen die kostenlose Open-Source-Software OpenFOAM® und entwickelt für spezielle Problemstellungen grafische Benutzeroberflächen.

Bauwerk	Oberwasserspiegel		Abweichung [%]
	gemessen [mm]	simuliert [mm]	
keilförmiges Wehr	226	227	+0,44
breitkroniges Wehr	336	321	+4,67
keilförmiges Wehr	181	179	+1,1
Thomsonwehr	278	279	+0,359

Dadurch wird es für

- Mittelständler
- Studierende
- Professoren

möglich, ohne hohe Lizenzgebühren und aufwendige Einarbeitung in die CFD-Software, diese Technologie zu nutzen.

An der htw saar wird ein Testkanal betrieben. Er dient der Untersuchung des Strömungsverhaltens von diversen Einbauten im Kanal. Damit werden die Simulationsergebnisse validiert.



Abbildung 2: Testkanal der htwsaar für Experimente zum Strömungsverhalten von Kanal mit diversen Einbauten

Niederspannungsnetzmodell Erneuerbare Energien im Forschungsprojekt PolyEnergyNet (PEN)

htw saar WI Institut

VSE Verteilnetz GmbH

Stadtwerke Saarlouis GmbH

Voltaris GmbH

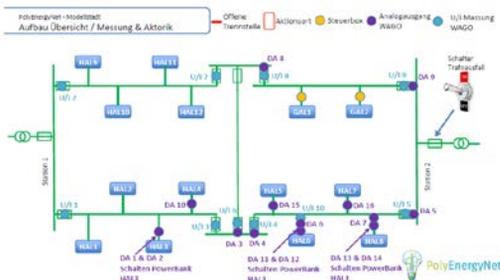
Wago Kontakttechnik GmbH

Projektbeschreibung und Ziel

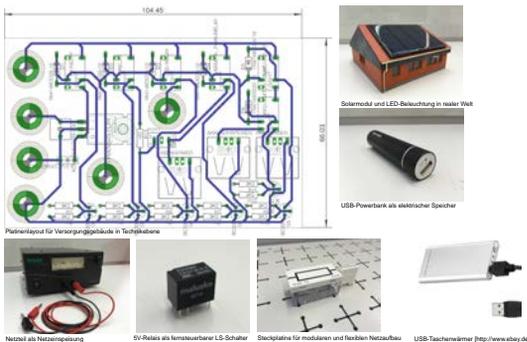
Im Zuge der Energiewende steigt der Anteil dezentral erzeugter elektrischer Energie in Niederspannungsnetzen stetig an. Zukünftig bedarf es intelligenter Steuerungen sowohl beim Verbraucher aber auch im Niederspannungsnetz selbst. Die Entwicklung und Erprobung solcher Systeme benötigt eine realitätsnahe Testumgebung mit vielen Freiheitsgraden, die in realen Niederspannungsnetzen aufgrund von befürchteten Beeinträchtigungen der Versorgungsqualität der Kunden und dem bisherigen Automatisierungsgrad eingeschränkt ist. Aus diesem Grund wurde in Kooperation zwischen der htw saar und Partnern aus der Industrie ein „intelligentes“ Hardware-Netzmodell im Rahmen des Forschungsprojektes PolyEnergyNet entwickelt, welches zum einen eine realitätsnahe Testumgebung für solche Steuerungen bietet und zum anderen in den Bereichen Lehre und Öffentlichkeitsarbeit den Wissenstransfer ermöglicht und vereinfacht.



Frontalansicht des Netzmodells mit realer und technischer Ebene [VSE]



Modelliertes Anwendungsbeispiel [VSE]



Übersicht einzelner Modellkomponenten (htw saar)

Vorgehensweise

- Gleichspannungsmodell mit 4V Betriebsspannung
- fernsteuerbare und automatisierte Ortnetzstationen sowie Kabelverteilerschränke
- 20 Wohngebäude und 6 Gewerbegebäude
- Versorgungsobjekte mit fernschaltbarer
 - Beleuchtung
 - fester Last
 - flexibler, kaskadierter Last
 - PV-Anlage (fernschaltbar)
 - elektrischem Speicheranlage
 - Power to Heat- Anlage
- Wago Mess- und Automatisierungstechnik
- Voltaris Steuerbox und Gateway

Ergebnis

Im Rahmen des Projektes wurde ein flexibles Netzmodell für Praxistests von realen Netzkomponenten und Versorgungsszenarien aufgebaut, das an der htw saar weiterentwickelt und sowohl in der Lehre als auch in der Forschung als Testumgebung für intelligente Steuerungen, Netzautomation und zukünftige Versorgungsaufgaben in der Niederspannung auch für Ladeinfrastruktur E-Mobilität eingesetzt werden kann

DAS GEHEIMNIS DER TURBULENZ - SIMULATION UND VISUALISIERUNG

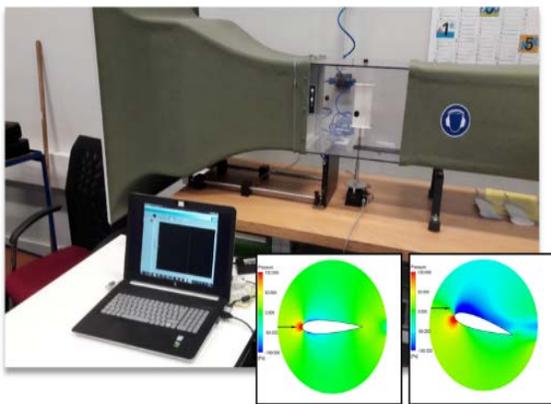
Alex Giuseppe Ruffino, Arslan Ahmed, Burhan Ibrar, Daniel Lehser-Pfeffermann, Danjana Theis, Frank Ulrich Rückert

Projektbeschreibung

An der htw saar wurde in den vergangenen Jahren sehr intensiv an der Auslegung und Umsetzung von Kleinwindenergieanlagen gearbeitet. Dabei wurde ein kompletter Workflow von der Standortvermessung über das Rotordesign bis hin zum fertigen Prototyp und dessen Vermessung definiert und umgesetzt. Ein wesentlicher Punkt besteht darin, das aerodynamische Verhalten zu verstehen und realistisch beschreiben zu können. Zur Untersuchung dieser Strömungen stehen computergestützte Simulationsverfahren, Versuchsstände und Windkanäle sowie bildgebende Messmethoden zur Verfügung.

Ziel

In diesem Projekt soll das Ablöseverhalten an aerodynamischen Profilen sowie der Strömungsnachlauf von Kleinwindturbinen untersucht werden. Durch geometrische Anpassungen kann das aerodynamische Verhalten deutlich verbessert und gleichzeitig mit dem Einsatz moderner Hybrid-Werkstoffe die Anlage im Hinblick auf Leichtbau optimiert werden. Diese werden simulativ und experimentell untersucht. Insgesamt kann dadurch die Effizienz deutlich gesteigert werden



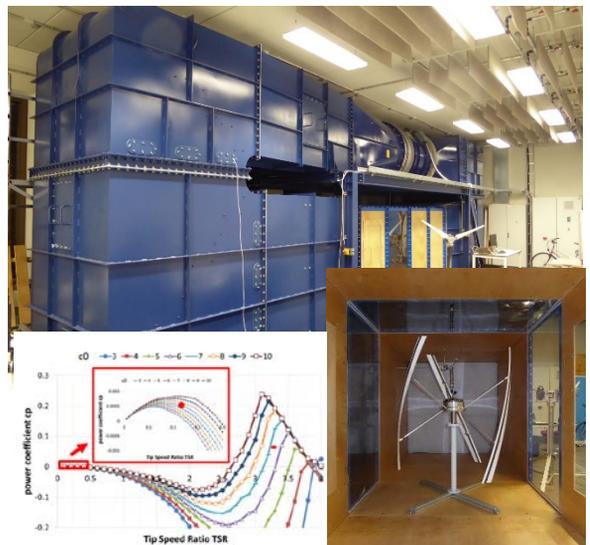
Kleinwindkanal zur Vermessung von Flügelprofilen für den Abgleich mit CFD-Ergebnissen

Ergebnis

Im Rahmen des Projektes wurden bisher verschiedene Blattprofile experimentell und simulativ untersucht und verglichen. Mit dem Einsatz von Schlieren-Fotografie wurde die Umströmung des Profils mit Echtzeit-Filtermethoden visualisiert. Basierend auf diesen Ergebnissen konnte ein Rotordesign erstellt und durch additive Fertigungsverfahren aufgebaut werden. Erste full scale Tests wurden im Windkanal erfolgreich durchgeführt.

Vorgehensweise

Zunächst werden Umströmungen von Blattprofilen simuliert und optimiert. Die anschließende Fertigung der Profile durch additive Fertigungsverfahren generiert Prototypen, welche in einem Windkanal vermessen werden. Neben den Messdaten ergeben sich durch Strömungsvisualisierungsmethoden weitere Daten zur Validierung der Simulationsergebnisse.



Windkanal zur Vermessung von „full scale“ Prototypen und Bestimmung der Anlagen-Leistungskurve

ocean[cube] – Meeresfisch ohne Meer aus der Fischzuchtanlage im Container

EXIST-Forschungstransfer ocean[cube]:

Carolin Ackermann, Christian Steinbach, Kai Wagner, Prof. Dr. Uwe Waller



Einblick in den Prototypen des ocean[cube]; die Entwicklungs- und Bauzeit betrug 12 Monate



Yellowtail Kingfish in der früheren Forschungsanlage des Teams im Labor Aquakultur; Dank aufwändiger Filterung schwimmen die Fische in klarem Wasser



Vision des Cubes bei einem Kunden auf dem Hof; Für Landwirte ist die Anlage die ideale Möglichkeit, ihr Geschäftsfeld zu erweitern



Das Team mit seinem Mentor, v.l.n.r. Carolin Ackermann, Prof. Dr. Uwe Waller, Christian Steinbach, Kai Wagner, Foto: Florian Diener – htw saar

Warum Aquakultur?

Weltweit steigt die Nachfrage nach Fisch. Dieser gehört zu den Grundnahrungsmitteln und liefert dem Körper wertvolle Eiweiße, Vitamine, Mineralstoffe sowie ungesättigte Fette. Durch die anhaltende Überfischung der Seen und Meere ist qualitativ hochwertiger Fisch jedoch zu einem knappen Lebensmittel geworden. Umweltverträgliche Aquakultursysteme sind bisher nur wenig vorhanden. Langfristige Alternativen zur zukünftigen Versorgung der Menschen mit frischem Fisch müssen umgehend entwickelt werden.

Wolfsbarsch von nebenan

Der ocean[cube] ermöglicht die nachhaltige und regionale Produktion von frischem Meeresfisch (z.B. Wolfsbarsch und Dorade). In recycelten Kühlcontainern untergebracht, bietet er auf einer Fläche von nur 100m² einen Fischertrag, mit dem der Bedarf im Umkreis von ca. 50 km gedeckt werden kann. Aufwändige, lange und die Umwelt belastende Transportwege von den Küsten zum Verbraucher werden vermieden. Die Stoffausnutzung des geschlossenen Anlagenkreislaufes ist optimiert und negative Einflüsse auf natürliche Ökosysteme sind praktisch nicht vorhanden. Durch das kontinuierlich aufbereitete Seewasser stellt die Anlage den Tieren einen stressfreien und artverträglichen Lebensraum bereit. Der Endverbraucher erhält ein hochwertiges Produkt, das roh verzehrt werden kann. Von den optimalen Haltungsbedingungen und der herausragenden Qualität kann er sich vor Ort selbst überzeugen. Potenzielle Anlagenbetreiber sind Landwirte, der Lebensmitteleinzelhandel und die Gastronomie. Diese haben durch die Automatisierung und Fernüberwachung nur einen minimalen Arbeitsaufwand und ein geringes Ausfallrisiko.

Vom Prototypen zur Serienreife

Wir sind ein EXIST-Forschungstransfer und haben gerade einen Prototypen unserer Anlage gebaut. Ziel ist es, diese bis Oktober 2019 im Betrieb zu optimieren und zur Serienreife zu bringen. Daneben haben wir bereits eine GmbH gegründet und sind nun dabei, den Vertrieb für den Cube aufzubauen.

Greater Green

Umweltechnik-Meta-Cluster in der Großregion

Anja Kastler (Koordination Saarland), Franziskus Sauer (Projektberater), alle weiteren ProjektmitarbeiterInnen finden Sie unter www.greatergreen.eu

Projektbeschreibung

GREATER GREEN ist ein INTERREG V A Großregion-Projekt, das die Akteure aus Wirtschaft (insbesondere KMU), Wissenschaft und Verwaltung grenzüberschreitend miteinander verbindet. Das Meta-Cluster unterstützt KMU beim Ausbau ihres Produktangebots und hilft so bei der Erschließung neuer Märkte. Zielgruppe: Netzwerke der Umweltechnik aus Rheinland-Pfalz, dem Saarland, Lothringen, Luxemburg und der Wallonie sowie der deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens. Projektdauer: 1.10.2016 bis 30.9.2019, Fördersumme: 651.271,12 €

Ziele

- Sensibilisierung von KMU und Forschungseinrichtungen für grenzüberschreitende Zusammenarbeit,
- Attraktivitätssteigerung und Erhöhung der internationalen Sichtbarkeit der Umweltechnik-Branche in der Großregion,
- Erhöhung der Exportquote,
- Vernetzung der Akteure der Umweltechnik in der Großregion,
- Innovations- und Wachstumsimpulse sowie positive Auswirkungen auf die Arbeitsmärkte und Arbeitskräftemobilität in der Großregion.



Vorgehensweise

Projektjahr 1:

- Aufbau der Struktur – Einrichtung einer Geschäftsstelle und der Satellitenstellen
- Entwicklung von Marketingmaßnahmen:
- Homepage www.greater-green.eu
- Entwicklung einer GREATER GREEN Dachmarke (CI) sowie eines Messekoffers

Projektjahr 2:

- Konzeption und Erarbeitung einer Analyse und Bestandsaufnahme der Umweltechnik-Branche in der Großregion mit ihren Wertschöpfungsketten, ihren Spezifika, ihrer räumlichen Ausdehnung und den Vorzeigeprojekten
- Produktion von „Leuchtturm“-Broschüren der verschiedenen Branchen

Projektjahr 3:

- Konzeption und Erarbeitung eines Abschlussberichts
- Entwicklung eines Business-Plans zur Verstetigung der Cluster-Aktivitäten



MIT UNTERSTÜTZUNG VON - AVEC SOUTIEN DE



Designnetz – Verbunden mit kreativer Energie

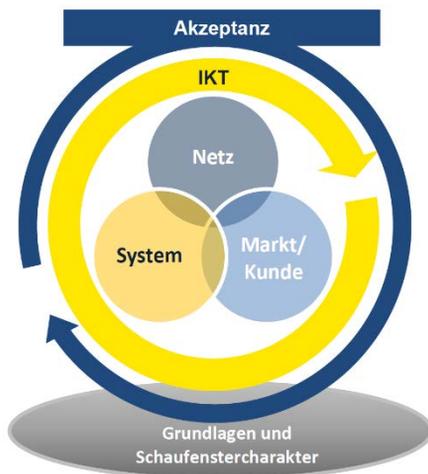
47 Projektpartner aus der Energiewirtschaft, der IKT Branche, der Industrie, der Wissenschaft und Forschung – Koordinator: innogy SE

Projektbeschreibung

Das Forschungsprojekt Designnetz wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert und gehört zu dem Förderprogramm „Schaufenster intelligenter Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG). Ziel dieses Förderprogramms ist die Entwicklung und Demonstration übertragbarer Musterlösungen aus erneuerbaren Energien [www.sinteg.de]. Die Modellregion von Designnetz erstreckt sich von Nordrhein-Westfalen über Rheinland-Pfalz bis hin zum Saarland.

Ziel

Von Einzellösungen zum effizienten Energiesystem der Zukunft: Ziel des Schaufensters Designnetz ist es, durch optimierte markt-, netz- und systemdienliche Nutzung von Flexibilitäten einen entscheidenden Beitrag zur Energiewende zu leisten. Dazu werden Werkzeuge und Lösungen für eine zukunftsweisende, sichere sowie effiziente Energieversorgung für Deutschland geschaffen. Das übergeordnete Ziel von Designnetz ist die Integration von Einzellösungen zu einem stabilen und damit zukunftsfähigen Gesamtsystem.



Technische und wissenschaftliche Arbeitszielebenen

Ergebnis

Designnetz wird das technisch bislang umfassendste Demonstrationsprojekt zur Integration EE Energien in das Versorgungssystem sein. Als Ergebnis des Projekts werden neue Geschäftsmodelle und Musterlösungen für das Massengeschäft erarbeitet, bei denen das Zusammenwirken von Netz und Markt eine entscheidene Rolle spielt. Es wird gezeigt, dass die Energiewende beim Kunden startet und endet.

Vorgehensweise

Der Fokus von Designnetz liegt auf den Demonstrationsprojekten und deren Verknüpfung zu einem aussagekräftigen und repräsentativen Schaufenster. In neun Arbeitspaketen wird die IKT-gestützte und inhaltliche Integration der Demonstratoren in ein Gesamtsystem durchgeführt und ausgewertet. In Hinblick auf die technischen und wissenschaftlichen Arbeitszielebenen erfolgt die Durchführung der Demonstrationsprojekte in den Bereichen „Flexibilisierung von Erzeugung und Verbrauch“, „Netzbetrieb“ und „IKT“. Es wird untersucht, in welcher Interaktion marktdienliche Aspekte, die Nutzung von Flexibilität aus Netzsicht und die notwendige IKT-Infrastruktur als Voraussetzung und „Enabler“ für die verschiedenen Anwendungen stehen müssen, um einen gesamtsystemdienlichen Effekt zu erzielen. Bei allen Zielebenen wird, als übergreifender Rahmen, die „Akzeptanz und Partizipation“ in Gesellschaft und Wirtschaft ein entscheidendes Kriterium für die spätere Überführung der entwickelten und demonstrierten Lösungen in Produkte und Dienstleistungen sein. Die htw saar ist hauptsächlich mit ihrem Teilvorhaben in den Arbeitspaketen „Netzbetrieb und Systemdienstleistungen“ sowie „IKT-Baukasten und integrierte Daten- und Dienstplattform“ verortet. Im Rahmen des Teilvorhabens ergibt sich eine enge Zusammenarbeit mit der VSE Gruppe und dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI).

SolWP-Hybrid - Solare Wärmepumpensysteme zur Wärme- u. Stromversorgung von Gebäuden

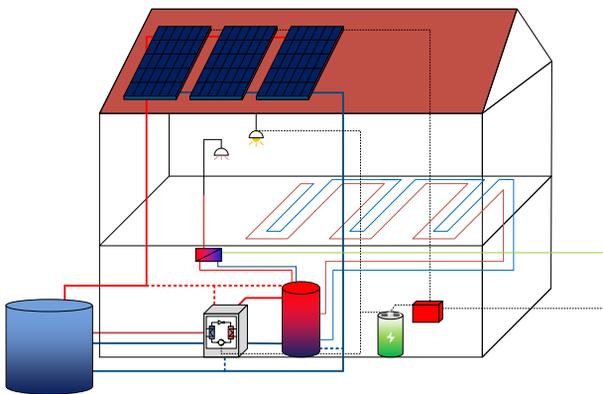
Labor für Solare Energiesysteme der htw saar: Danjana Theis, Adnane El jeddab
Lehrstuhl AES der UdS, Prof. Georg Frey: Danny Jonas, Josef Meiers

Projektbeschreibung

Im Rahmen des vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) geförderten Forschungsprojektes erfolgt eine systematische Untersuchung solarer Wärmepumpensysteme mit photovoltaisch-thermischen (PVT) Solarkollektoren, Wärmepumpen sowie thermischen und elektrischen Energiespeichern als Hybridsysteme zur Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden.

Ziel

Entwicklung möglichst effizienter Betriebsweisen der Systeme bei unterschiedlichen Randbedingungen (Klima, Gebäudetyp) und Zielsetzungen (z.B. hoher Eigenverbrauch des erzeugten Solarstroms, hoher Autarkiegrad, hohe Netzentlastung, CO₂-Einsparung oder Wirtschaftlichkeit).



Eines der zu untersuchenden Konzepte: Eisspeichersystem mit PVT-Kollektoren und Batteriespeicher (Danny Jonas)

Vorgehensweise

- Ermittlung der Effizienz, des Eigenverbrauchs- und Autarkiegrades sowie der Wirtschaftlichkeit für unterschiedliche Systemauslegungen mit variierenden Randbedingungen durch Simulation mittels TRNSYS
- Untersuchung der hydraulischen Integration verschiedener PVT-Kollektoren
- Vergleich mit getrennten Kombinationen aus Solarthermie und Photovoltaik
- Validierung der Simulationsmodelle durch Labormessungen und Untersuchungen an Einzelkomponenten
- Aufbau eines Hardware-in-the-Loop Prüfstandes im HTZ der htw saar und Analyse verschiedener Systemvarianten im Labor

Ergebnisse

Bei einer Projektlaufzeit bis 2020 konnten bisher vor allem experimentelle Untersuchungen an PVT-Kollektoren durchgeführt werden. Basierend auf einem TRNSYS-Modell der UdS konnten die Kollektoren thermisch und elektrisch charakterisiert werden. In diesem Zusammenhang beteiligen wir uns an der IEA SHC Task 60 „PVT collectors“. Es erfolgt nun die Integration der o.g. Komponenten in einen HiL-Prüfstand der htw saar.

Wir bedanken uns für die Förderung im EFRE-Programm Saarland 2014-2020 im Ziel „Investitionen in Wachstum und Beschäftigung“ des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und den beteiligten Projektpartnern Viessmann Heizsysteme GmbH, Sonnenkraft GmbH und DualSun für deren Unterstützung.



Unterschiedliche Photovoltaisch-Thermische (PVT)-Kollektoren auf dem Outdoor-Leistungsprüfstand des Labors für Solare Energiesysteme im Hochschultechnologiezentrum der htw saar (Foto: Danjana Theis)