

OTH

OSTBAYERISCHE
TECHNISCHE HOCHSCHULE
REGENSBURG

RCER

REGENSBURG CENTER OF
ENERGY AND RESOURCES

Energieforschung

AUSGABE 2020



Energieforschung

GEFÖRDERTE PROJEKTE

2017 bis 2019

IMPRESSUM

Redaktion/Herausgeber:

OTH Regensburg | Regensburg Center of Energy and Resources (RCER)
Galgenbergstraße 24 | 93053 Regensburg | www.rcer.de

Danksagung: Das RCER dankt allen Autorinnen und Autoren
für die Forschungsbeiträge und die ergebnisreiche Zusammenarbeit.

Konzept, redaktionelle Betreuung, grafische Gestaltung:
Apostroph | Agentur für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Landshuter Straße 37 | 93053 Regensburg

Druck: Aumüller Druck GmbH & Co.KG
Weidener Straße 2 | 93057 Regensburg

Nicht gekennzeichnete Fotos: OTH Regensburg

Datenstand: November 2019

gefördert durch:

Aufbruch
Bayern 

Bayerische Staatsregierung





RCER – Regensburg Center of Energy and Resources

Über uns	7
Zahlen – Daten – Fakten	8
Ziele und fachliche Ausrichtung	9
Energiedatenbank des RCER	10
Kompetenzen unter dem Dach des RCER	11
Organisationsstruktur	14
Netzwerke – Kooperationen	15



Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

16



Wissenstransfer

17



Die Projekte stellen sich vor

21



Gebäude und Siedlungsstrukturen 23

MAGGIE – Interdisziplinäre energetische Modernisierung	23
Feuchtemodellierung in Tunnelinnenschalen	26
Entscheidungskriterien für Energiegewinnungskonstruktionen	28



Motoren und Maschinen

31

Klimaneutral mit Verbrennungsmotor	31
EVOLUM – Einspritz- und Verbrennungsverhalten von Pflanzenölkraftstoff	33
Abwärmenutzung von Verbrennungsmotoren	34



Netze und Transformatoren

37

CrossEnergy: Entscheidungsunterstützungstool für die künftige elektrische Energieinfrastruktur	37
Potentiale bei der Umweltverträglichkeit von Transformatorölen	39

OPTIBIOSY – Optimierungsmodell für Biogasanlagen	40
C/sells-Demonstrationszelle Ostbayern	42
neos – NetzEntwicklungsOffensive Strom	44
KoKWK – Kompetenznetzwerk Kraft-Wärme-Kopplung	45
Modellierung von Trockentransformatoren	46
TRAST – Transformatoren und Monitoringsystem	48
Q-INTEGRAL – Aktives Blindleistungsmanagement	49
SyNErgie – Systemoptimierendes Netz- und Energiemanagement	50
Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit von Bettungsmaterialien	51
Kleinstwindenergieanlagen – elektrische Komponenten	53
Kosten der Blindleistungsbereitstellung	55
RONT und die Spannungsstabilität des Stromnetzes	56
Wechselwirkungen zwischen Regelleistungserbringung und Netzengpässen im Verteilnetz	56
Blindleistungsstudie II des BMWi	57



Speicher und Batteriemangement 59

ORBIT – Optimierung der biologischen CO ₂ -Methanisierung	59
SPIKE – Systemanalyse und -integration Power-to-X	61
QUARREE100 – Entwicklung eines Eisen-Redox-Speichers	62



Informations- und Managementsysteme 65

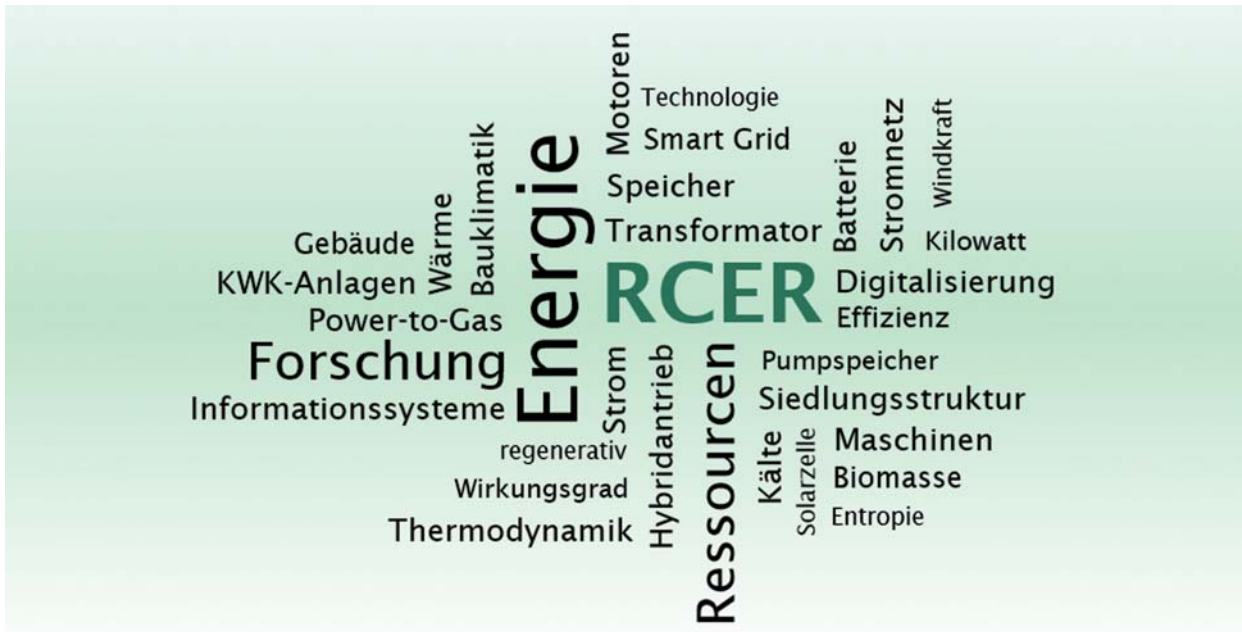
ORKI – Ostbayerische Ressourcenversorgung und Kritische Infrastrukturen	65
Analyse und Design eines Energiemanagementsystems	66



Weiterentwicklung: Drittmittelprojekte 69



RCER – Regensburg Center of Energy and Resources



Über uns

Das Regensburg Center of Energy and Resources (RCER) bündelt seit 2012 die Aktivitäten der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg (OTH Regensburg) und der regionalen Wirtschaftsunternehmen auf dem Strategiefeld „Energie und Ressourcen“.

Mission

Energieforschung: vernetzen, voranbringen, vermitteln

Das RCER fördert die **Vernetzung** verschiedener Disziplinen der Energieforschung innerhalb der OTH Regensburg und mit externen Partnern (Firmen, Förderträgern, Forschungsinstitutionen, öffentlichen Einrichtungen).

Das RCER ist Ihr Partner beim **Voranbringen** von Kooperationen und Forschungsvorhaben durch Unterstützung in der Antragsphase, bei der Einwerbung von Projektmitteln und Projektbegleitung im Energiebereich.

Das RCER steht für die **Vermittlung** von Know-how, Basiswissen, aktuellen Fragen und den Technologietransfer rund um das Thema Energie zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik.

Vision

Wir sind Ihr erster Ansprechpartner und Motor für innovative Energieforschung.

Werte

Verlässlichkeit, Kompetenz, Verantwortungsbewusstsein

Regional verwurzelt und weltoffen



Zahlen – Daten – Fakten



24 gCO₂e/tkm



129 gCO₂e/tkm



Primärenergieverbrauch in Deutschland

2008: **14.380** Petajoule (PJ)

2018: **12.900** Petajoule (PJ)



1.666 Windanlagen in Bayern
39.937 Windanlagen in Deutschland
(09/2019)



Projektförderung des Bundes
im Energieforschungsprogramm:
615,77 Mio. € Mittelabfluss in 2018

„Designed by Freepik“ from www.freepik.com



Ziele und fachliche Ausrichtung

Das RCER versteht sich als Anlaufstelle für alle Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf dem Strategiefeld „Energie und Ressourcen“ und fungiert als Drehscheibe bei der Findung und Bildung interdisziplinärer Projektteams aus Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Hand. Neben der engen Kooperation zu Wirtschaftsunternehmen ist das RCER auch an regionalen Clustern und Netzwerkprojekten beteiligt.

Inhaltlicher Schwerpunkt des RCER ist die Innovationsförderung im Bereich der gesamten Prozess- und Wertschöpfungskette innerhalb der Energieversorgung und -anwendung. Diese wird durch die steigende Einspeisung erneuerbarer Energien in das Stromnetz sowie durch Energieeffizienzmaßnahmen bestimmt.

Es wird das Ziel verfolgt, wesentliche Beiträge zur Etablierung nachhaltiger, energieeffizienter und ressourcenschonender Energiesysteme von der Energiegewinnung und -erzeugung über Energietransport und -verteilung bis hin zur Energieanwendung und -nutzung unterschiedlicher Energieformen zu erbringen. Damit soll das Gebiet der Energie- und Ressourcenforschung und der Energietechnologien als Kompetenzschwerpunkt und Forschungsnetzwerk am Standort Regensburg weiter ausgebaut werden.

Im Kontext von Forschung und Wissensvermittlung fördert das RCER die interdisziplinäre und fakultätsübergreifende Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Energie- und Ressourcenforschung und der Energietechnologien zur Beantwortung von technischen, ökologischen, wirtschaftlichen, politischen und sozialen Frage- und Problemstellungen.

Die Leistungen des RCER umfassen:

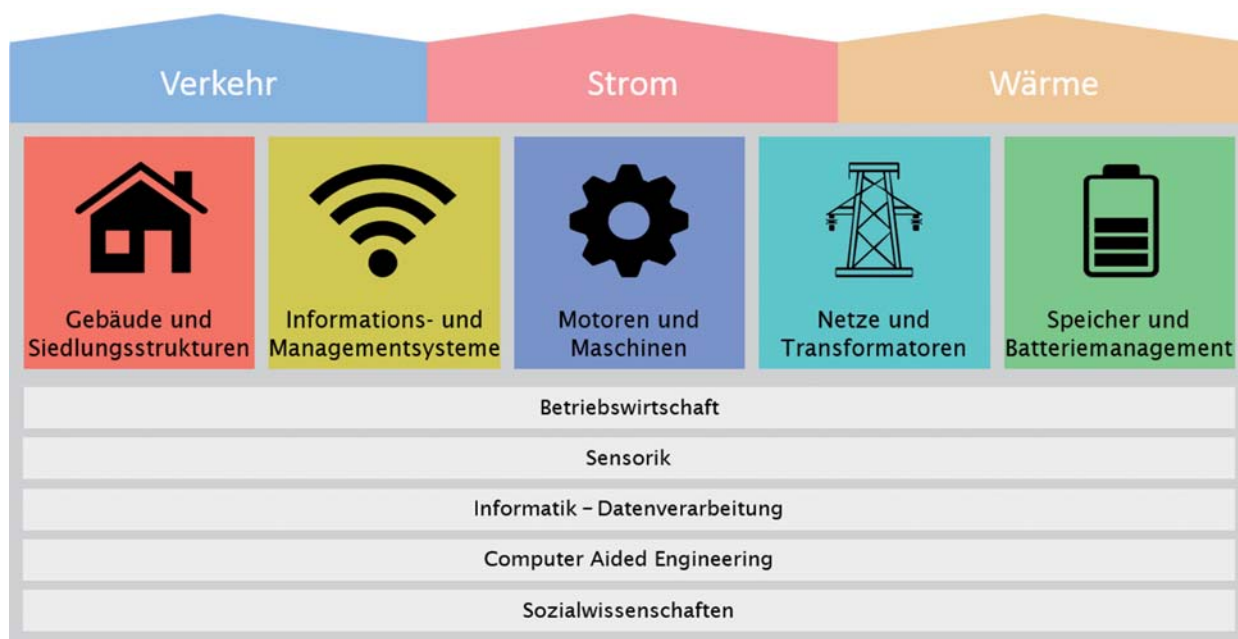
- Förderung von Kooperationen zwischen Netzwerkmitgliedern, Drehscheibe für Wissenschaft, Wirtschaft und öffentliche Hand
- Unterstützung bei der Einwerbung von Fördermitteln auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene im Bereich der anwendungsorientierten Energie- und Ressourcenforschung
- Mitwirkung an regionalen Netzwerkprojekten und Clustern
- Förderung eigener Projekte im Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO) und Aufbau von Forschungskompetenzen
- Wissensvermittlung auf dem Gebiet der Energie- und Ressourcen durch den „Regensburger Energiekongress“ und Informationstage





Kompetenzen unter dem Dach des RCER

Die fünf Forschungsbereiche des RCER bündeln die Expertise der Professorinnen und Professoren sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Ergänzt werden diese Schwerpunkte durch die Anwendungssektoren Verkehr, Strom und Wärme, sowie übergreifende Themen wie beispielsweise Sensorik und Sozialwissenschaften.



Die acht Fakultäten der OTH Regensburg bieten vielfältige Blickwinkel auf eine Fragestellung. Forschung und Entwicklung des Maschinenbaus und der Elektrotechnik werden ergänzt durch Lösungsstrategien aus dem IT-Bereich und die Betrachtung von Wirtschaftlichkeit, gesellschaftlicher Akzeptanz sowie bautechnischer Möglichkeiten.



Die Schwerpunkte liegen auf folgenden Themengebieten:



Gebäude und Siedlungsstrukturen

Energiemonitoring und Nutzerverhalten

Wärmedämmung

Gebäudeenergieeffizienz

Nachhaltige Modernisierung

Mobilität und Infrastruktur

Regenerative Energieversorgung



Motoren und Maschinen

Motorentechnik | Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung

Abgasbehandlung

Verbrennungsmotoren

Stirlingmotoren

Biogene Kraftstoffe

Hybridantriebe



Informations- und Managementsysteme

Informations- und Kommunikationstechnologie

Smart Grid

Smart Metering | Smart Home

IT-Sicherheit



Netze und Transformatoren

Netzregelung

Netzplanung

Netzintegration

Transformatoren und andere Betriebsmittel

Versorgungszuverlässigkeit

Systemsicherheit und Netzstabilität

Spannungsqualität



Speicher und Batteriemangement

Power-to-X

Pumpspeicher

Speichersimulation

Wärme- und Kältespeicherung

Akkumulatorentechnik | Lade- und Speichertechnik

Darüber hinaus werden Querschnittsthemen bearbeitet, die mehrere der genannten Forschungsbereiche abdecken. Ein detaillierter Überblick ist auf der Webseite in der Kompetenzdatenbank verfügbar.





Organisationsstruktur

Die inhaltlich-operative Führung des RCER erfolgt durch die Geschäftsführung zusammen mit einem wissenschaftlichen Direktorium:

RCER-Direktorium



Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Fakultät Elektro- und Informationstechnik

Wissenschaftlicher Leiter des RCER
Tel. 0941 943-9881
oliver.brueckl@oth-regensburg.de



Prof. Dr.-Ing. Michael Elsner

Fakultät Maschinenbau

Tel. 0941 943-5154
michael.elsner@oth-regensburg.de



Prof. Dr. Oliver Steffens

Fakultät Angewandte Natur- und Kulturwissenschaften

Tel. 0941 943-9775
oliver.steffens@oth-regensburg.de



Prof. Dr. Klaus Volbert

Fakultät Informatik und Mathematik

Tel. 0941 943-1304
klaus.volbert@oth-regensburg.de

RCER-Geschäftsstelle



Anna Tommek

Leitung

Tel. 0941 943-9210
anna.tommek@oth-regensburg.de



Susanne Kenner

Datenmanagement

Tel. 0941 943-1140
susanne1.kenner@oth-regensburg.de

Besucheradresse:

in der Agentur für Arbeit | 1. Stock | Raum 1.053
Galgenbergstraße 24 | 93053 Regensburg

Postanschrift: Postfach 12 03 27 | 93025 Regensburg

rcer@oth-regensburg.de
www.rcer.de

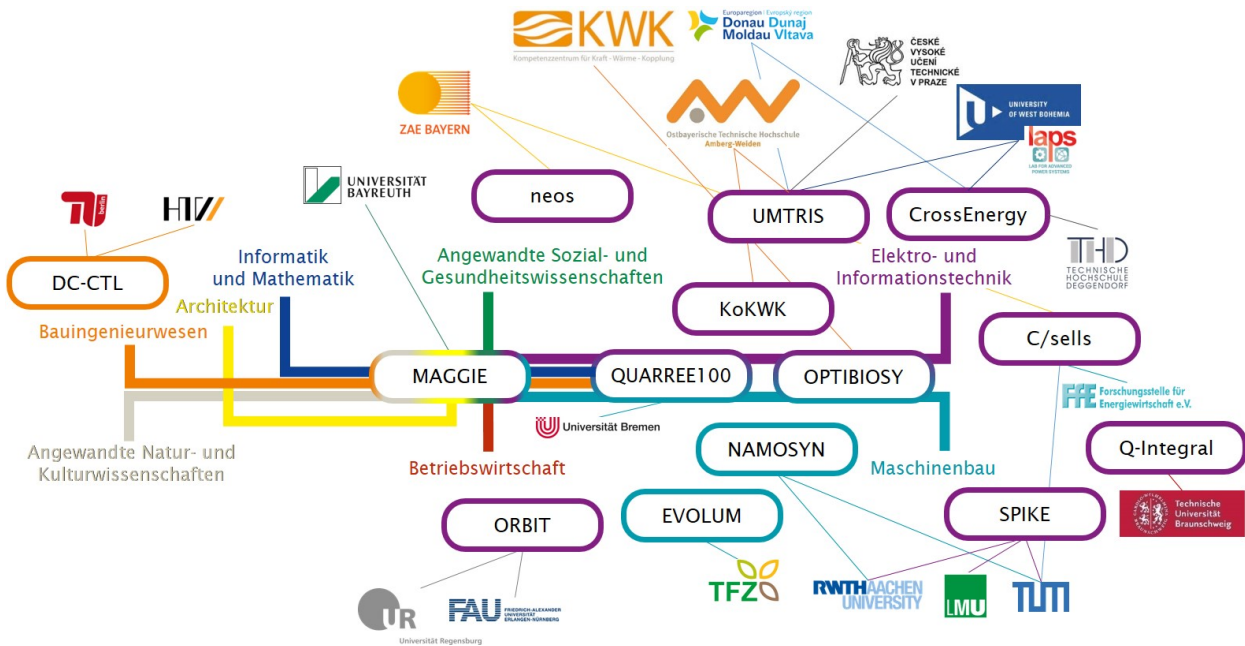
RCER-Lenkungsrat

Hochschulleitung, Dekane aller Fakultäten und Institut für
Angewandte Forschung und Wirtschaftskooperationen (IAFW) der OTH Regensburg



Netzwerke – Kooperationen

Mit Unternehmen aus ganz Deutschland, Tschechien und darüber hinaus konnte ein breit gefächertes Netzwerk aufgebaut werden. Das abgebildete Netzwerk zeigt eine Auswahl an Projekten mit den kooperierenden Forschungs- und Hochschuleinrichtungen sowie den beteiligten Fakultäten der OTH Regensburg. Diese Verbindungen stehen stellvertretend für die Vielzahl der wissenschaftlichen Projektpartner und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.



Durch die sehr intensive Zusammenarbeit mit der OTH Amberg-Weiden sowie dem Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung (KoKWK) unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch konnten Forschungsprojekte, wie beispielsweise OPTIBIOSY, gemeinsam eingeworben werden. Aber auch die fakultätsübergreifende Zusammenarbeit innerhalb der OTH Regensburg wurde ausgebaut, wie im Projekt MAGGIE mit der Beteiligung von sechs Fakultäten.

Ebenso wurden die grenzüberschreitenden Kontakte zur Nachbarregion Böhmen und insbesondere der Universität Pilsen in gemeinsamen Forschungsprojekten wie CrossEnergy und UMTRIS vertieft.



Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

Die Ostbayerischen Technischen Hochschulen Regensburg und Amberg-Weiden beteiligen sich mit einem gemeinsamen Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO) am Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“, das von der Bayerischen Staatsregierung gefördert wird.

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst



Das TWO soll in den beiden zukunftsrelevanten Strategiefeldern „Energie und Ressourcen“ und „Medizintechnik“ einen zukunftssträchtigen Beitrag zur Stärkung der Wissenslandschaft in der Region Oberpfalz leisten, um den demographischen Wandel zu bewältigen.

Als Innovationsmotor gestaltet das TWO die Energie- und die Energieversorgung der Zukunft. Prämisse sind dabei nicht nur Umweltschutz und die Einsparung von Ressourcen, sondern auch der Anspruch, die Wertschöpfung in der Region zu halten und neue, zukunftsfähige Arbeitsplätze zu schaffen, die die Wettbewerbsfähigkeit der Oberpfalz stärken.

Durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst werden je Haushaltsjahr finanzielle Mittel zugewiesen. Die Ausgabemittel sind zur Finanzierung aller Maßnahmen im Rahmen des TWO-Projekts zu verwenden, worüber ein jährlicher Bericht verfasst wird. Die Verwendung der Ausgabemittel und Kriterien wurden durch das RCER in einem Förderkatalog konkretisiert.

In Abbildung 1 sind die geförderten TWO-Projekte am Standort Regensburg von 2016 bis 2019 dargestellt. Es zeigt die Verteilung der Projekte innerhalb der fünf Forschungsbereiche sowie die jeweils beteiligten Fakultäten.

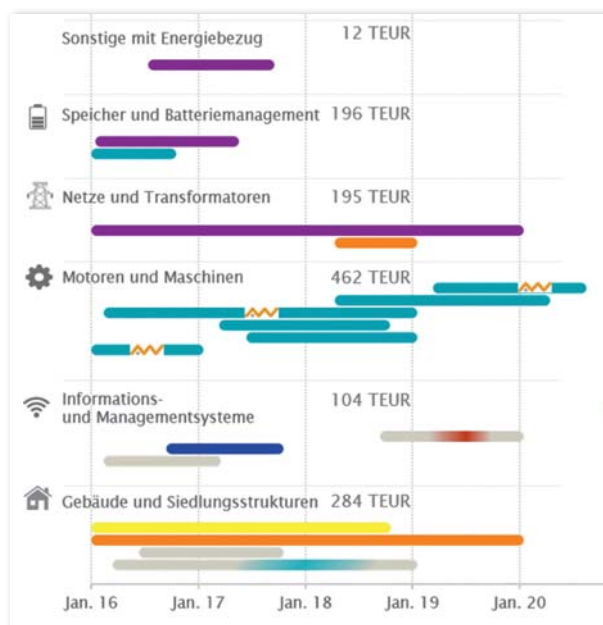


Abb. 1: TWO-Projekte 2016 – 2019 der OTH Regensburg

Legende der beteiligten Fakultäten

- Angewandte Natur- und Kulturwissenschaften
- Informatik u. Mathematik
- Architektur
- Maschinenbau
- Bauingenieurwesen
- Betriebswirtschaft
- Elektro- u. Informationstechnik
- in Zusammenarbeit mit OTH Amberg Weiden

Im Rahmen der TWO-Projekte werden u. a. auch Anschubfinanzierungen oder eine PreDoc-Förderung zur Einwerbung von Drittmitteln unterstützt.



Abb. 2: Hebelwirkung: eingesetzte TWO-Mittel zu eingeworbenen Drittmitteln

Durch die zugewiesenen TWO-Mittel für die Haushaltsjahre 2012–2019 konnte das RCER zahlreiche Drittmittelprojekte bei der Vorbereitung und Beantragung unterstützen. Durch diese Anschubfinanzierungen aus TWO-Mitteln konnten von 2015 bis 2017 Drittmittelprojekte im Umfang von Faktor drei generiert werden. Für den Zeitraum 2015 bis 2019 konnte dieser Hebel sogar auf sieben erhöht werden, d. h. aus einem Euro an eingesetzten TWO-Mitteln werden 7 Euro an eingeworbenen Drittmitteln in der Energieforschung.

Wissenstransfer

Ein Schwerpunkt des RCER ist die Verbreitung von aktuellen Themen im Bereich „Energie und Ressourcen“ über Infotage sowie von Forschungsergebnissen über Tagungen, wie beispielsweise den Energiekongress. Ziel dabei ist neben der Generierung neuer Netzwerke auch der Transfer der Forschungsergebnisse in die Gesellschaft und Wirtschaft.

Der **Regensburger Energiekongress** bringt alle zwei Jahre Wissenschaft, Politik, Bürger und Unternehmen an einen Tisch. Er symbolisiert das Engagement für einen durchdachten und nachhaltigen Umbau des deutschen Energiesystems.

Bisherige Kongresse

2013 Fokus: „Stromnetz“

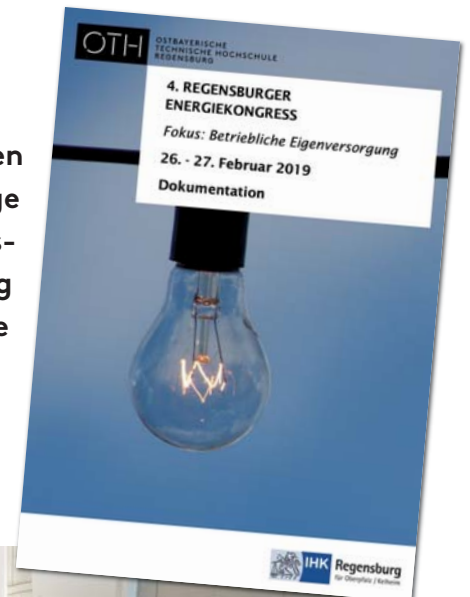
2015 Fokus: „Energieeffizienz“

2017 Fokus: „Blackout“

2019 Fokus: „Betriebliche Eigenversorgung“

Der nächste Kongress ist 2021 an der OTH Regensburg geplant – dann wird der Energiekongress 5!
www.energiekongress-regensburg.de

Impressionen





Diskussionsrunde Infotag 2017 v.l.n.r.: Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl (OTH Regensburg), Stefan Lochmüller (N-ERGIE AG), Dr. Frank Wirtz (Bayernwerk Netz GmbH), Dr. Gerhard Kleineidam (VDE), Raphael Lechner (OTH Amberg-Weiden), Michael Scheckenhofer (StMWi), Dr. Bernd Koch (Siemens AG)

Darüber hinaus bieten wir **Informationstage** für verschiedene Interessensgruppen (Unternehmen, Kommunen, Versorger etc.) an, um über aktuelle Fragestellungen im Energie- und Ressourcenbereich zu informieren und zu diskutieren.

Infotage:

- 2013 „Betriebliche Energieeffizienz“
- 2016 „Energie und Ressourcen im Betrieb“
- 2016 „EEG 2017“
- 2017 „Dezentrale Energieversorgung“
- 2020 „Energetische Sanierung im Bestand“

Die Infotage werden in Zusammenarbeit mit der IHK Regensburg für Oberpfalz/Kelheim sowie dem Cluster Energietechnik der Bayern Innovativ GmbH organisiert.



Partner im

Cluster Energietechnik

Der 10. **Workshop** der Wissensplattform Energie zum Thema „Smart Energy Systems – Lösungsansätze auf regionaler Ebene“ fand im März 2017 an der OTH Regensburg statt.

Der Workshop wurde von Susanne Supper, Managerin der EDM-Wissensplattform Energie, durchgeführt. Die Impulsvorträge zum Thema zeigten ein breites Spektrum an interessanten Forschungs- und Umsetzungsaktivitäten, beispielsweise „Energiewende in der Region Regensburg“ oder „Berechnungswerkzeuge für Niederspannungsnetze“, die in den Mitgliedsregionen der Europaregion Donau-Moldau untersucht werden.

Neben themenbezogenen Fachinputs soll die grenzüberschreitende Zusammenarbeit, auch in Form von gemeinsamen INTERREG Förderprojekten gestärkt werden.



Referent Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl, OTH Regensburg.
 Foto: Markus Meinke, EDM



Workshop-Teilnehmende, von links: Robert Jodlbauer, Euregio Egrensis; Verena Pfeffer, Euregio Bayern; Franz Patzl, Landesregierung Niederösterreich; Susanne Supper, EDM; Markus Meinke, EDM; Romana Sadravetz, EDM; Petr Janecek, Westböhmisches Universität Pilsen; Anna Tommek, OTH Regensburg; Franz Zollner, Kreiswerke Cham; Eduard Janecek, Westböhmisches Universität Pilsen; Sebastian Goers, Energieinstitut Johannes Kepler Universität Linz; Reinhart Schwaiberger, Hochschule Landshut; Foto: Markus Meinke, EDM

Neben den Unternehmen sind aber auch Studierende, Schülerinnen und Schüler und junge Leute eine Zielgruppe für unseren Wissenstransfer.

Im Rahmen von **NachtSCHAFFT Wissen** wurde am 12. April 2019 in einem Vortrag das Thema „Warum ist ein Transformator keine Fritteuse? Ölwechsel – Jetzt wird’s Zeit!“ präsentiert.

Dabei wurden grundsätzliche Fragen wie beispielsweise „Wo sind Trafos überhaupt zu finden? – Wie funktionieren Trafos? – Was ist eigentlich das Problem von Mineralöl in Trafos?“ kurzweilig und anschaulich vorgetragen und den Interessierten Einblicke in das Projekt UMRIS mit Untersuchungen zu alternativen Transformatorölen gegeben.



Transformator.

Im Rahmen eines **Umweltprojekttages** am 27. Juni 2019 war eine Schülergruppe des Hans-Carossa-Gymnasiums aus Landshut an der OTH Regensburg zu Besuch. An einem von Mitarbeitenden der Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) organisierten Workshop wurden Themen rund um den Klimawandel und die Energiewende schülergerecht aufbereitet.

Die Gruppe aus 20 Schülerinnen und Schülern startete den Projekttag mit einer Einführung zu den Ursachen und Folgen des anthropogenen Klimawandels. Anschließend gab es eine Führung im Labor Energiespeicher und Energienetze sowie die Vorstellung der Methanisierungsanlage des ORBIT Projektes und die Präsentation des E-Smart.



Im Rahmen der Laborführung bekamen die Schülerinnen und Schüler u. a. auch den E-Smart vorgestellt.



Länderübergreifender Austausch zum Stand der Energieforschung: von Energieeffizienz bis erneuerbare Energien.

Im Juni 2017 gastierte Prof. Dr. Mark Apperley von der University of Waikato, Neuseeland, an der OTH Regensburg. Auf Einladung von Professor Dr. Markus Westner (OTH Regensburg) besuchte er die Fakultät Informatik und Mathematik sowie das RCER und hielt einen Vortrag über seine aktuellen Forschungsergebnisse im Bereich der Modellierung von Smart Micro Grids. Im Rahmen von Gesprächen mit Dozierenden und Studierenden informierte er sich über aktuelle Lehr- und Forschungsaktivitäten an der OTH Regensburg.

Eine Delegationsreise mit Gästen aus Pakistan besuchte am 16. September 2019 die OTH Regensburg. Organisiert von den Beruflichen Fortbildungszentren der Bayerischen Wirtschaft (bfz gGmbH) informierte sich die Delegation mit Vertreterinnen und Vertretern von verschiedenen pakistanischen Unternehmen und Institutionen auf ihrer einwöchigen Deutschlandreise zu Themen der Energieeffizienz und zu erneuerbaren Energien.

Nach der Begrüßung und Vorstellung aktueller Forschungsprojekte erhielt die Delegation in verschiedenen Laboren und an Versuchsaufbauten der Fakultäten Elektro- und Informationstechnik sowie Maschinenbau spannende Einblicke in die Forschungsthemen. Auf dem Programm stand die Besichtigung des Versuchsreaktors im Projekt ORBIT. Zudem wurden im Labor Sorptionsprozesse Untersuchungen zum Eisen-Redox-H₂-Speicher sowie zu synthetischen Kraftstoffen im Rahmen des Projektes NAMOSYN präsentiert.

Im Zuge der vielfältigen Fragen zu den vorgestellten Forschungsprojekten und -themen gab es einen regen Austausch.



Prof. Dr. Mark Apperley von der University of Waikato zu Gast an der OTH Regensburg.



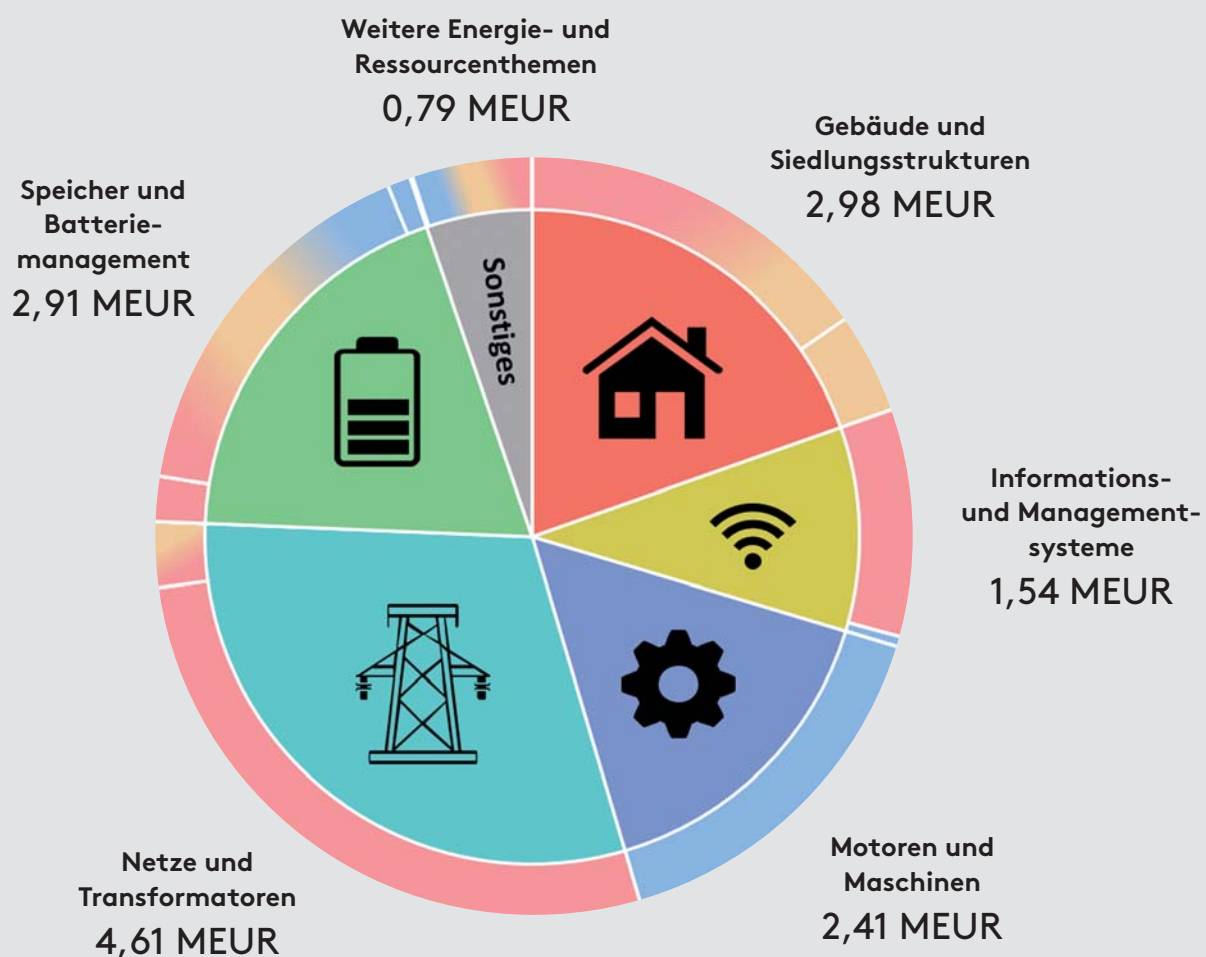
Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Delegation aus Pakistan, die im September 2019 die OTH Regensburg besuchten, um sich über Themen rund um die Energieforschung auszutauschen.

Projekte stellen sich vor

Im Bereich der Energie und Ressourcenforschung konnte die OTH Regensburg seit 2012 ein Projektvolumen von 15,24 MEUR an öffentlich geförderten Drittmitteln einwerben.

Die Verteilung über die Forschungsbereiche des RCER zeigt die nachfolgende Grafik. Insbesondere der Schwerpunkt Netze und Transformatoren konnte in den vergangenen Jahren einen enormen Zuwachs an Drittmitteln verzeichnen. Aber auch die weiteren vier Schwerpunkte sind mit öffentlichen Forschungsprojekten signifikant vertreten.

Forschungsbereich und Fördersumme OTH Regensburg bewilligt seit 2012



Anwendungssektoren: ■ Strom ■ Wärme ■ Verkehr

Stand 10/2019

Auf den nachfolgenden Seiten erhalten Sie einen Einblick in laufende und abgeschlossene Projekte der Energieforschung der vergangenen drei Jahre.



Gebäude und Siedlungsstrukturen

MAGGIE – Interdisziplinäre energetische Modernisierung

Ein Projekt von Prof. Dr. Oliver Steffens et al.

Als die Erbauer der Margaretenau vor 100 Jahren im Westen Regensburgs damit begannen, eine Gartenvorstadt zu errichten, betraten sie buchstäblich Neuland. Heute tun sie es wieder, als Partner der OTH Regensburg im Forschungs- und Entwicklungsprojekt MAGGIE. Darin stellen sich die Konsortialpartner einer Reihe von aktuellen technologischen und auch gesellschaftlichen Herausforderungen. Der Fokus liegt dabei auf solarem Bauen und Modernisieren.

Dämmen mit Glaskügelchen und solaraktiven Wandaufbauten

Gemeinsam mit der Universität Bayreuth und Franken Maxit Mauermörtel GmbH & Co entwickelt die OTH Regensburg neuartige solaraktive und -passive Wandsysteme. Um solare Gewinne im Mauerwerk zu erzielen, werden lichtleitende und Strahlung absorbierende Elemente mit einer zugleich gut wärmedämmenden Matrix kombiniert. Das ist vergleichbar mit dem weißen Fell und der darunterliegenden dunklen Haut des Eisbären.

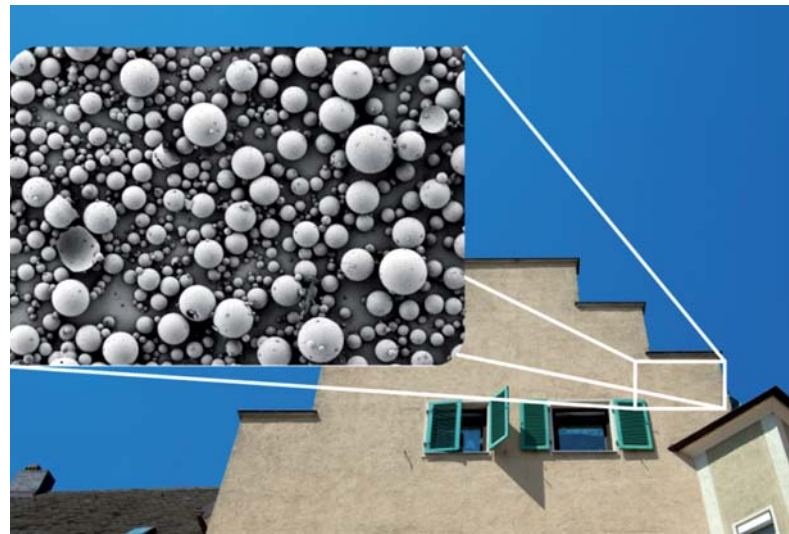


Abb. 1: Haus mit mineralischem Putz auf Basis hohler Glaskügelchen (MHGK), © Birgitt Schlauderer, pictographie.de, Glaskügelchen von Lukas Zielbauer Uni Bayreuth

MAGGIE – Energetische Modernisierung des genossenschaftlichen Wohnquartiers Margaretenau in Regensburg

Förderzeitraum 2017-10-01 bis 2020-09-30
Bewilligte Summe 2.336.750 EUR

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Kompetenzzentrum Nachhaltiges Bauen, Labor für Heizungs- und Klimatechnik, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Förderprogramm

Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt

Verbundvorhaben

9 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

MAGGIE: Energetische Modernisierung des Stadtquartiers Margaretenau | Thermisch-dynamische Gebäudesimulation zur Beschreibung der energetischen Potenziale solaraktiver und solaradaptiver Speicherputze im Gebäudebestand Simulation eines BHKW-Hochtemperatur-Luftwärmepumpen-Hybridsystems | Experimentelle Untersuchung verschiedener solaradaptiver Putzsysteme in einem Wandprüfstand als Teil des Projekts MAGGIE

Förderzeitraum 2017-03-01 bis 2018-12-31
Bewilligte Summe 157.672 EUR

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Kompetenzzentrum Nachhaltiges Bauen, Labor für Heizungs- und Klimatechnik, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber

Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

Förderprogramm

Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

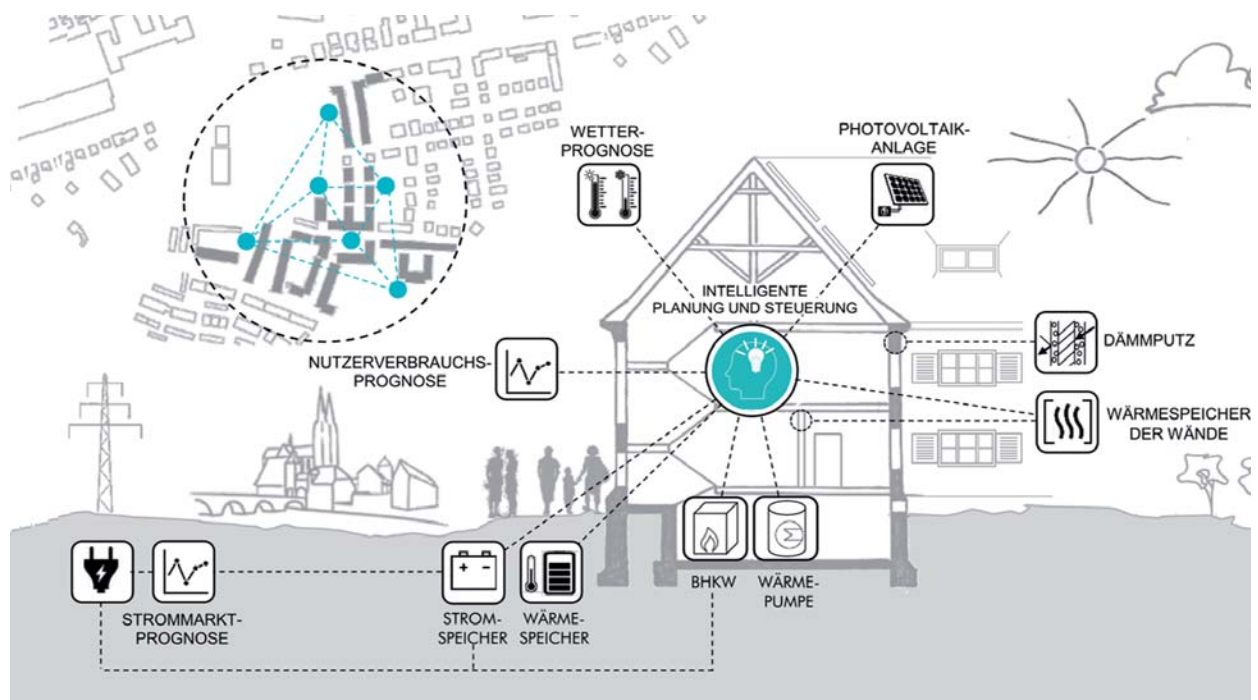


Abb. 2: Übersichtsbild Projekt MAGGIE

Das Fassadenelement ohne solare Gewinne wirkt nach dem Prinzip der Rettungsdecke. Es soll das Gebäude durch Reflexion der infraroten Strahlung zurück in die Gebäudemasse warm halten. Mit Hilfe von Simulationen und einem Wandprüfstand werden diese Bauteile entwickelt und an einem Gebäude in der Margaretenau im realen Einsatz getestet.

Der Großteil der Gebäudehülle wird mit einem mineralischen Putz auf Basis hohler Glaskügelchen (MHGK) bestückt. Dieser stellt eine sinnvolle Alternative zur weit verbreiteten Polystyrol Kunststoffdämmung dar und bietet viele Vorteile wie eine bessere Langzeitstabilität oder gute Brandschutzeigenschaften. Das sahneähnliche Gemisch in einer Schicht von zehn Zentimetern Dicke an die Wand zu bringen, ist ein weiteres Ziel von MAGGIE. Kürzlich wurden die ersten Hauswände damit verputzt und dabei viel gelernt, was die perfekte Mischung, Transport- und Spritztechnik angeht.

Hybridheizsystem und intelligentes Energiemanagement

Zur Wärmeversorgung des Demonstrationsgebäudes soll ein besonders effizientes Hybridheizsystem aus Blockheizkraftwerk und Wärmepumpe von Carnotherm Wärmelogistik GmbH & Co. KG eingesetzt werden. Dieses soll Heiz-, Einbau- und Wartungskosten sparen und nebenbei CO₂-Emissionen reduzieren. Wärme wird beispielsweise aus dem Abgas rückgewonnen. Die Systemkomponenten laufen bereits in den Laboren und warten auf ihren Einbau in der Energiezentrale im Keller der Margaretenau. Weiterhin wird eine Minimierung der Verteilverluste von Heizungs- und Trinkwarmwasserleitungen umgesetzt. Dafür wurde, bei gesicherter Wasserhygiene, ein Hydraulikkonzept mit mehreren Pufferspeichern erarbeitet. Dieses beinhaltet beispielsweise eine Absenkung der Pumpenlaufzeit und eine bessere Leitungs- und Spei-



cherdämmung. Verschiedene Entnahmeregime, Speicherbeladezustände und Stillstandszeiten werden berücksichtigt und können an die tatsächlichen Nutzungszustände angepasst werden. Und hier kommt das selbstlernende Energie-Optimierungssystem ins Spiel. Sozusagen als „Gehirn“ von MAGGIE wird eine intelligente Planungs-, Steuerungs- und Energiemanagementsoftware eingesetzt. Diese soll neben Betriebszeiten, z. B. der Heizungsumwälzpumpe, Verbrauchsdaten und Wetterprognosen auch die Energiepreise berücksichtigen und selbstlernend größtmögliche Kosten- und Ressourceneffizienz erreichen. Energieerzeugung, -verteilung und -speicherung werden in Echtzeit auf den energetischen Bedarf des Ensembles abgestimmt. Das Optimierungsverfahren basiert dabei zum Teil auf sogenannten evolutionären Algorithmen. Das heißt, dass deren Funktionsweise an die Evolution natürlichen Lebens angelehnt ist. Das Tool, also die Maschine, soll damit Wissen aus Erfahrung generieren, Muster erkennen und im Optimalfall auch mit unbekanntem Daten zu recht kommen (Maschinelles Lernen).

Architektur, Nutzereinbindung und Ökobilanz

MAGGIE ist ein interdisziplinäres Projekt unter Beteiligung von sechs Fakultäten und elf Professorinnen und Professoren der OTH Regensburg. So können noch weitere Kernthemen wie Architektur und Ästhetik, die Ansprüche der im Quartier lebenden Menschen und der Klima- und Umweltschutz eingehend betrachtet werden.

Zum Beispiel werden, um nicht nur bei der Energie die Ressourcenverbräuche im Blick zu haben, für die Baustoffe eine Ökobilanzierung sowie eine Lebenszyklusanalyse (LCA) durchgeführt. Die Entscheidungen werden in Abstimmung mit der Genossenschaft getroffen, die Genossenschaftsmitglieder befragt und transparent informiert.

MAGGIE endet im Herbst 2020. Die Ergebnisse spielen jedoch auch in den kommenden Jahren, bei der Sanierung der gesamten Margaretenu, eine wichtige Rolle. Das Projekt wird im Förderprogramm Solares Bauen durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Beteiligte Professorinnen und Professoren der OTH Regensburg:

- Prof. Dr. Oliver Steffens (Projektleitung)
- Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud
- Prof. Dr.-Ing. Susan Draeger
- Prof. Dr. Sonja Haug
- Prof. Dr.-Ing. Dietmar Kurapkat
- Prof. Dipl.-Ing. Nikolaus Neuleitner
- Prof. Dr.-Ing. Christian Rechenauer
- Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner
- Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang Stockbauer
- Prof. Dr. Karsten Weber
- Prof. Dr.-Ing. Felix Wellnitz
(inzw. Beuth Hochschule Berlin)

Feuchtemodellierung in Tunnelinnenschalen

Ein Projekt von Prof. Dr. Wolfgang Kusterle und Prof. Dr. Oliver Steffens

Einschränkungen in der Dauerhaftigkeit von Betonkonstruktionen sind oft mit Feuchtetransporten im Porensystem verbunden. Angreifende Substanzen gelangen durch den Feuchtetransport in den Beton. In Kombination mit Feuchte können späte auftretende Schädigungsprozesse hervorgerufen werden. Korrosionsprozesse infolge von Chlorid und Karbonatisierung sind als Beispiele zu benennen. Weiterhin kann es bei hohem, kritischem Feuchtegehalt und raschem Temperaturanstieg (Brandfall) zu explosionsartigen Abplatzungen kommen. Diese führen zur massiven Zerstörung der Bauwerksstruktur. Die Modellierung des Feuchtegehalts in der Tunnelinnenschale kann bei der Vorhersage von auftretenden Schädigungen helfen und somit die Langlebigkeit des Tunnels erhöhen (Ergreifung von Gegenmaßnahmen). Das Vorhaben wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Be-

tonfeuchtemodell für Tunnelinnenschalen in Österreich“ (FFG Projektnummer 850560, gefördert von BMVIT, ASFINAG und ÖBB) durchgeführt.

Innerhalb des Forschungsprojektes wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches die in den Tunnelinnenschalen auftretenden relativen Feuchten bzw. massenbezogenen Wassergehalte zu beliebigen Zeitpunkten und unter gegebenen instationären anliegenden Randbedingungen bestimmen kann. Hierfür wurden im Zuge des Projekts besonders einflussreiche Materialeigenschaften, etwa die Feuchtespeicherfunktion, für verschiedene Betonrezepturen bestimmt. Die mittels 2D-Simulation erzeugten Simulationsdaten wurden anhand von Messdaten validiert. Die Generierung der Messdaten erfolgte über den Einbau von Sensoren (Luftfeuchte und -tempe-

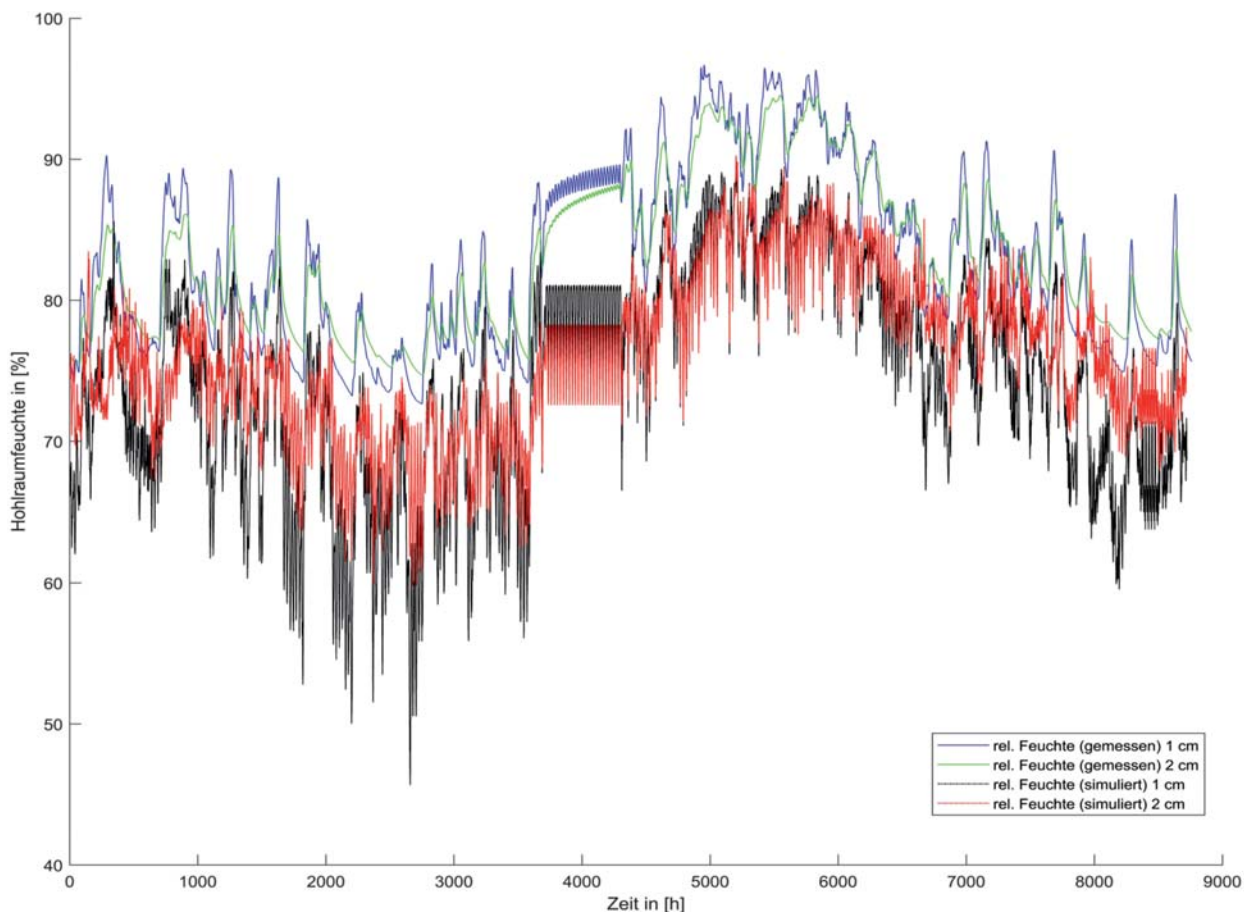


Abb. 1: Vergleich des gemessenen und simulierten Tunnelklimas in den Schichttiefen 1 cm und 2 cm



Abb. 2: Nordportal des Inntaltunnels (Foto: D. Sindensberger)

atur) in abgedichtete Kavitäten in ausgewählten Tunneln. In Abbildung 1 werden gemessene und simulierte Daten gegenübergestellt. Es ist ersichtlich, dass die Tendenzen der Feuchteschwankungen in der Simulation abgebildet werden können. Um den Off-Set zwischen simulierten und gemessenen Daten zu verringern, werden aktuell Versalzungs- und Carbonatisierungseffekte im Beton und die Wechselwirkung der chemischen Vorgänge mit den Sensoren genauer untersucht, um eine Verfälschung der Messdaten aufgrund unterschiedlicher Zahl freier Ionen zu vermeiden.

Literatur

[1] Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, „WUFI erfüllt Benchmark-Test nach DIN EN 15026“, einsehbar unter: https://wufi.de/download/EN15026_de.pdf

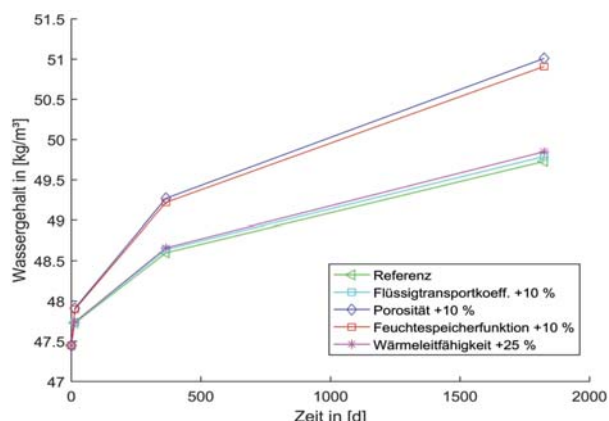


Abb. 3: Einfluss verschiedener Materialeigenschaften auf den Wassergehalt

[2] P. Rucker-Gramm, „Modellierung des Feuchte- und Salztransports unter Berücksichtigung der Selbstabdichtung in zementgebundenen Baustoffen“, Dissertation, Lehrstuhl für Baustoffkunde, Technische Universität München, München, 2008.

[3] M. Krus, „Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken“, Dissertation, Fak. Bauingenieur- und vermessungswesen, Universität Stuttgart, Stuttgart 1995.

[4] Y. Xi et al., „Moisture Diffusion in Cementitious Materials, Moisture Capacity and Diffusivity“, Advanced Cement Based Materials, Nummer 1, S. 258-266, 1994. Pitz und Hoh Werkstatt für Architektur und Denkmalpflege GmbH (Hrsg.): Sanierungsdokumentation Haus Schminke, Berlin 2000.

Entwicklung eines Betonfeuchte-Modells für instationäre Klimarandbedingungen

Förderzeitraum 2016-04-01 bis 2017-09-30
Bewilligte Summe 33.000 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Kompetenzzentrum Nachhaltiges Bauen

Zuwendungsgeber
 Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)
Förderprogramm
 Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“



Optimization of decision criteria for energy production structures

Project of Prof. Dr.-Ing. Dimitris Diamantidis (OTH Regensburg) and Assoc. Prof. Dr. Miroslav Šykora (CVUT Prague)

Background

The construction industry is a key commercial field for implementation of the EU Policies focused on the single market, sustainability, environment and energy. Current standards do not provide direct information regarding the design and maintenance of energy production structures (see example Figure 1). Respective decision criteria such as those related to design concepts need to be optimized in order to minimize total costs including initial costs and consequences of possible structural failures. Outcomes of such optimizations can be implemented into present design formats through target reliability levels. Structural reliability is optimized considering three major types of potential failure consequences: a) direct and indirect economic losses due to structural failure, b) societal consequences resulting from fatalities and injuries, and c) environmental impacts. A guidance on how to estimate and combine the three contributors has been provided within this project.

Methodology

Optimal level of reliability for structures and their members depend on the balance between the consequences of failure and costs of safety measures. From an economic point of view, the objective is to minimize the total lifetime cost. The expected total costs C_{tot} may be generally considered as the sum of the expected structural cost, costs of inspections and maintenance, and costs related to failure (malfunction) of a structure. The decision parameter(s) d to be optimised (see Figure 2) in structural design may influence resistance, serviceability,



Figure 1: Example photovoltaic structure (case study a)

durability, maintenance, inspection strategies etc. The structural costs under consideration include:

- i) Cost C_0 independent of the decision parameter (surveys and design, temporary and assembly works, administration and management etc.),
- ii) Cost $C_1(d)$ dependent on the decision parameter; normally the linear relationship can be accepted, $C_1 \times d$.

Maintenance costs may include preventive or corrective interventions. Failure cost C_f – the cost related to consequences of structural failure – may include:

- Cost of repair or replacement of the structure,
- Economic losses due to non-availability or malfunction of the structure
- Societal consequences (costs of injuries and fatalities)
- Unfavourable environmental effects
- Other (e.g. loss of reputation).

The estimation of failure cost is a very important, but likely most difficult step in the cost optimisation. For consistency, the structural and failure costs need to be expressed on a common basis. This is achieved by converting the expected and monetized failure costs, related to a lifetime t , to the present value. The lifetime is the planned service life of the energy production system for example 20 years for solar structures or the desired remaining lifetime of the plant in case of existing structures.

Optimierung von Entscheidungskriterien für Energiegewinnungskonstruktionen
Implementierung von risikobasierten Kriterien für Energiegewinnungskonstruktionen in die Normen

Förderzeitraum 2017-01-01 bis 2019-12-31
Bewilligte Summe 17.200 EUR

Ausführende Stelle
OTH Regensburg, Fakultät Bauingenieurwesen

Zuwendungsgeber
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)
Förderprogramm
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

While benefits and costs of a private stakeholder or public authority are reflected by economic optimisation, the society should define the limits for human safety to achieve uniform risks for various daily-life activities and across different industrial sectors. In this regard, three different approaches – based on individual or group risk, and the Life Quality Index – are developed.

Cost optimisation

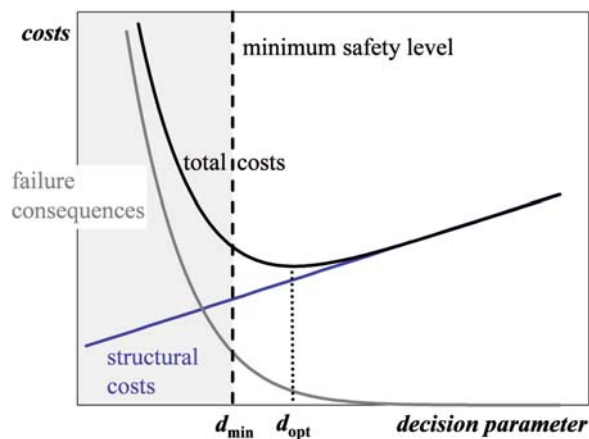


Figure 2: Costs versus decision parameter

Case studies

The methodology has been implemented in typical limit state scenarios of structural members by considering a random structural resistance and maximum two action effects (permanent and variable such as wind related). Optimal reliability levels and related partial factors for design have been thereby determined. In addition case studies have been developed:

- Existing production units in a power plant which consist of thousands of components of technological devices. The performed analysis is based on a Bayesian network and thus focuses on the key devices that have been selected in accordance with the technical provisions and the experience of operators and plant managers. The outage of such a critical device yields an outage of the whole production unit and even key devices have been selected.
- Ground mounted solar structures in which wind uplift forces dominate design criteria due to their large uncertainty (see Figure 1). Optimal reliability levels for design purposes have been derived.
- Roof structures in which additional information through monitoring becomes available and updating of reliability can be performed together with decision criteria regarding the future use of the structure.

Outcomes

Project results have been used in international research organisations – such as the Joint Committee on Structural Safety (JCSS), the International Federation for Structural Concrete fib, and The International Association for Bridge and Structural Engineering IABSE – and also published in scientific articles:

Sykora, M., Markova, J. and Diamantidis, D., 2018, “Bayesian Network Application for the Risk Assessment of Existing Energy Production Units”, *Reliability Engineering and System Safety* 169C:312-320.

Holicky, M., Diamantidis, D. and Sykora, M. 2018, “Reliability Levels Related to Different Reference Periods and Consequence Classes”, in: *Beton- und Stahlbetonbau* 113 (September 2018): 22-26, 2018, Online ISSN: 1437-1006, DOI: 10.1002/best.201800039.

Miroslav Sykora, Milan Holicky, Karel Jung & Dimitris Diamantidis. *Human Safety Criteria for Risk-Based Structural Design*; In: *International Journal of Safety and Security Engineering* 8(2): 287-298, 2018, ISSN: 2041-9031 (paper format), ISSN: 2041-904X (online), DOI: 10.2495/SAFE-V8-N2-287-298

Qamar Mahboob and Enrico Zio (eds.), Miroslav Sykora, Dimitris Diamantidis, Milan Holicky, and Karel Jung. *Handbook of RAMS in Railway Systems. Theory and Practice*. Boca Raton: CRC Press, 2018. 745 p. ISBN 9781138035126 (chapter ‘Chapter 20: Target reliability for new and existing railway civil engineering structures’, p. 351-378).

Diamantidis, D., Sykora, M., 2018, “Optimizing monitoring – implementation of draft guideline and case study of roof exposed to snow loads” *IABSE Symposium* September 19-21, 2018, Nantes, France. Zürich: IABSE, p. S27-27-S27-34, 2018, ISBN: 978-3-85748-153-6; ISBN: 978-3-85748-161-1.

Diamantidis, D., Sykora, M. and E. Bertacca, 2018, “Obsolescence Rate: Framework, Analysis and Influence on Risk Acceptance Criteria”, *Proceedings of the 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering*. 28-31 October 2018, Ghent, Belgium.

Dimitris Diamantidis

Professor, Faculty of Civil Engineering, OTH Regensburg, Regensburg, Germany

Miroslav Sykora

Associated Professor, Klokner Institute, Czech Technical University in Prague, Prague, Czech Republic



Motoren und Maschinen

Klimaneutral mit Verbrennungsmotor

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl et al.

Damit die Erderwärmung als Folge eines Ausstoßes von CO₂ auf ein verträgliches Maß beschränkt werden kann, muss der weltweite Ausstoß des Treibhausgases drastisch reduziert werden. Durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen werden große Mengen CO₂ freigesetzt. Sektoren wie LKW-, Flug-, Schiffsverkehr und Baumaschinen können aufgrund der niedrigen Energiedichte von Batteriespeichern nur begrenzt elektrifiziert werden, weshalb hierfür andere, CO₂-neutrale, Lösungen gefunden werden müssen.

Das Forschungsprojekt NAMOSYN – Nachhaltige Mobilität durch Synthetische Kraftstoffe hat sich zum Ziel gesetzt, klimaneutrale Lösungen in Form von synthetischen Kraftstoffen (SynFuels) für Diesel- und Ottomotoren zu entwickeln und zu testen. Diese Kraftstoffe können nachhaltig und CO₂-neutral mit Hilfe erneuerbarer Energien produziert und genutzt werden.

Im Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung der OTH-Regensburg werden aktuell zwei Vertreter klimaneutraler Kraftstoffe untersucht. Synthe-

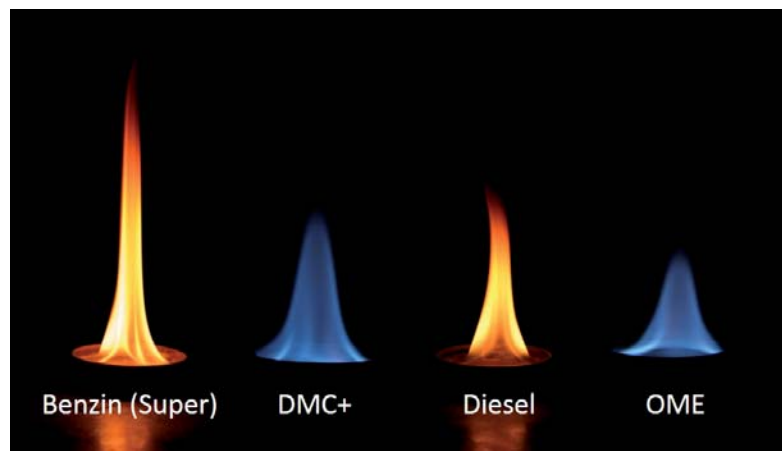


Abb. 1: Flammenbildung bei der Verbrennung verschiedener Kraftstoffe. Kein Rußleuchten bei den synthetischen Kraftstoffen.

tische Kraftstoffe aus der Gruppe der Oxymethylenether (OME) stellen eine CO₂-neutrale Alternative zu fossilem Dieselmotorkraftstoff dar. Für Ottomotoren soll im Rahmen des

NAMOSYN – Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe	
Förderzeitraum	2019-04-01 bis 2022-03-31
Bewilligte Summe	682.005 EUR
Ausführende Stelle OTH Regensburg, Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung (CEEC)	
Zuwendungsgeber Bundesministerium für Bildung und Forschung Förderprogramm Grundlagenforschung Energie Verbundvorhaben 36 Projektpartner aus Forschung und Industrie	
GEFÖRDERT VOM	
	Bundesministerium für Bildung und Forschung

SynFuel-Lab – neuen Synthetikraftstoffe	
Förderzeitraum	2018-06-01 bis 2018-11-30
Bewilligte Summe	53.750 EUR
Ausführende Stelle OTH Regensburg, Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung (CEEC)	
Zuwendungsgeber Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO) Förderprogramm Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“	
Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst	



NAMOSYN Projektes untersucht werden, ob der synthetische Kraftstoff DMC+ (Dimethylcarbonat & Methylformiat) einen Ersatz für Ottokraftstoffe darstellen kann.

Neben der Klimaneutralität weisen SynFuels aufgrund ihrer günstigeren chemischen Struktur vorteilhafte Verbrennungseigenschaften auf. Aufgrund des hohen Sauerstoffanteils in der Molekülstruktur verbrennen diese Kraftstoffe nahezu rußfrei. Dies und weitere vorteilhafte Eigenschaften ermöglichen den Einsatz völlig neuer Brennverfahren bei bestehenden und zukünftigen Verbrennungsmotoren, wodurch diese effizienter und mit deutlich geringeren Schadstoffemissionen betrieben werden können.

Damit SynFuels in heutigen Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können, ist eine Anpassung der Einspritzkomponenten und der Motorsteuerung notwendig. Im Labor für Verbrennungsmotoren werden diese Kraftstoffe an Motorprüfständen untersucht und die Messergebnisse mit den Leistungs- und Emissionsdaten konventioneller Diesel- oder Ottokraftstoffmotoren verglichen. Anschließend werden Einspritzkomponenten und Teile der Motorsteuerung an die neuartigen Kraftstoffe angepasst und dadurch Leistung und Emissionen optimiert. Darüber hinaus werden die Einspritzkomponenten an einem Systemprüfstand mit Hilfe eines Einspritzratenanalysators und optischen Messmethoden vermessen und mit Hilfe der Messdaten an die synthetischen Kraftstoffe angepasst.



EVOLUM – Einspritz- und Verbrennungsverhalten von Pflanzenölkraftstoff

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl

In Maschinen des Land- und Forstwirtschaftssektors wird der Einsatz von fossilen Kraftstoffträgern dominiert, obwohl mit Pflanzenöl ein energiereicher, biologisch schnell abbaubarer und gering ökotoxischer Kraftstoff als geeignete Alternative genutzt werden könnte. Ziel des Verbundprojektes ist die Erarbeitung von Grundlagen zur Auslegung der Motorsteuerung von pflanzenöltauglichen Off-Road-Motoren mit moderner Abgasnachbehandlung und die Validierung der Ergebnisse am Prüfstand.

Die teils sehr unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften von Pflanzenöl erfordern eine grundlegende Untersuchung des Motorprozesses. Hierzu sind die Auswirkungen des Kraftstoffes auf die Gemischbildung, über Zünd- und Verbrennungsverhalten bis hin zur Emissionsbildung und Abgasnachbehandlung zu ermitteln.

In Versuchsreihen am Motor werden diverse Einspritzstrategien und weitere Stellgrößen, wie z. B. Kraftstofftemperatur, Abgasrückführrate oder Ladedruck, an ausgewählten Modalpunkten zur Optimierung des Emissionsverhaltens erprobt. Dazu wird am Einspritzsystemprüfstand die hydraulische Einspritzcharakteristik von Rapsölkraftstoff und weiteren Pflanzenölkraftstoffen mittels dem Einspritzratenmessgerät Moehwald HDA und einer optisch zugänglichen Hochdruckkammer ermittelt.



Alternative Kraftstoffe

Zuletzt wird ein konventionelles Abgasnachbehandlungssystem an den Betrieb mit Rapsölkraftstoff angepasst und die Erfüllung der Emissionsgrenzwerte nach Abgasstufe IV/V überprüft.

Die Ergebnisse sollen den Kenntnisstand zu motorrelevanten Eigenschaften von Rapsölkraftstoff und anderen Pflanzenölen erweitern, um die Wissensbasis für die Auslegung von Injektoren und Abgasnachbehandlungssystemen zu verbessern.

Grundlagenorientierte Untersuchungen zum Einspritz- und Verbrennungsverhalten von Pflanzenölkraftstoff und Übertragung auf ein Motorsystem der Abgasstufe IV/V

Förderzeitraum 2017-06-01 bis 2019-11-30
Bewilligte Summe 229.668 EUR

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung (CEEC)

Zuwendungsgeber

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Förderprogramm

Förderung von land- und forstwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen auf Basis von Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Grundlagenorientierte Untersuchungen zum Einspritz- und Verbrennungsverhalten von Pflanzenölkraftstoff und Übertragung auf ein Motorsystem der Abgasstufe IV/V

Förderzeitraum 2017-07-01 bis 2018-06-30
Bewilligte Summe 57.000 EUR

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung (CEEC)

Zuwendungsgeber

Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

Förderprogramm

Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst





Abwärmenutzung von Verbrennungsmotoren durch einen Organic Rankine Cycle

Ein gemeinsames Projekt von Prof. Dr.-Ing. Thomas Lex, Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl (OTH Regensburg) und Prof. Dr.-Ing. Andreas Weiß (OTH Amberg-Weiden)

Einleitung

Ein Verbrennungsmotor gibt mindestens 59 % der eingesetzten Energie des Treibstoffs als Wärmeverluste ab [1]. Diese Wärme kann genutzt werden, um einen Dampfkraftprozess wie einen Organic-Rankine-Cycle (ORC) anzutreiben und mechanische Energie zu erzeugen. Diese zusätzliche Leistung führt zu einer höheren Effizienz des Motors.

Organic Rankine Cycle

Der ORC ist ein Dampfkraftprozess nach dem Clausius-Rankine-Kreisprozess. Dieser nutzt Wärme, um mechanische Energie zu erzeugen. Beim ORC wird dazu ein organisches Arbeitsmittel bei hohem Druck verdampft, expandiert, kondensiert und wieder auf Hochdruck gebracht. Eine Expansionsmaschine liefert dabei mechanische Energie.

Wärmequelle

Ein 1.0 l Ford EcoBoost Motor soll als Wärmequelle für den ORC genutzt werden. Dieser wurde im Labor Verbrennungsmotoren an der OTH-Regensburg vermessen. In neun Betriebspunkten, die sich durch die Motordrehzahl und das Motordrehmoment unterscheiden, wurden u. a. die Temperaturen und Volumenströme des Abgases und der Motorkühlung gemessen. Dadurch konnten die zur Verfügung stehenden Abwärmemengen in Kühlwasser und Abgas des Motors, die vom ORC genutzt werden können, bestimmt werden.

Der Motor besitzt laut Messungen einen effektiven Wirkungsgrad von bis zu 34 %. Maximal 50 % der durch die

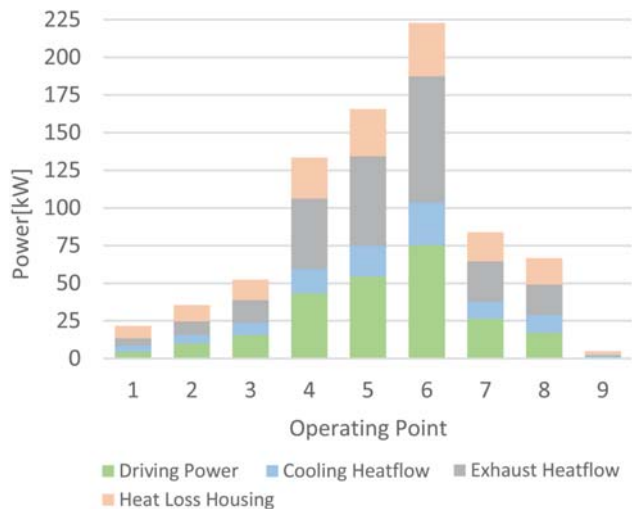


Abb. 1: Aufteilung Wärmeangebot des Treibstoffs

Treibstoffverbrennung freiwerdende Wärme wird über den Motorkühlkreislauf und das Abgas an die Umgebung abgegeben und kann im ORC genutzt werden.

Simulation

Ein Simulationsmodell des ORC mit seinen Hauptkomponenten wurde erstellt und mit Daten aus den Motormessungen befüllt.

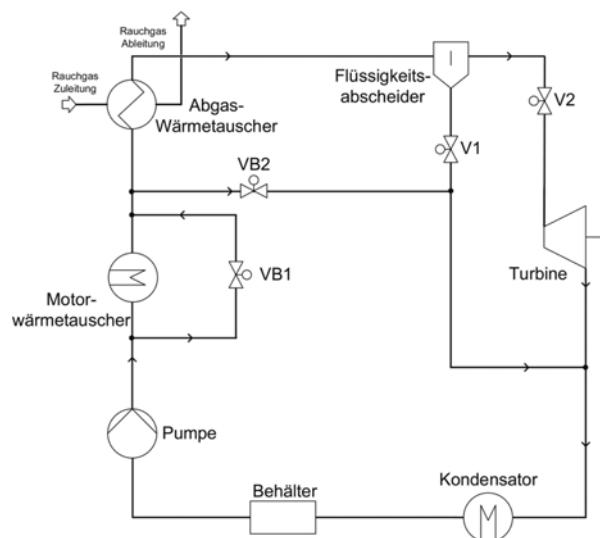


Abb. 2: Simulationsmodell

Systemintegration eines ORC-Prozesses zur Nutzung der Abwärme eines BHKWs

Förderzeitraum 2017-05-01 bis 2018-04-30
 Bewilligte Summe 69.625 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Labor für Kraft-Wärme-Kälte

Zuwendungsgeber
 Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)
 Förderprogramm
 Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“



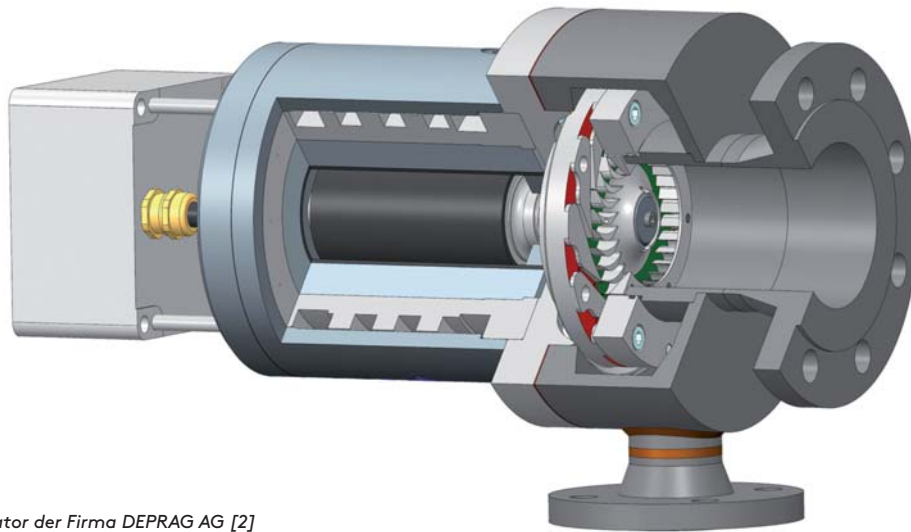


Abb. 3: Turbogenerator der Firma DEPRAG AG [2]

Mit der Simulation konnten verschiedene Arbeitsmittel auf ihre Effizienz getestet werden. Neben klassischen Kältemitteln wie R134a oder R245fa wurden Siloxane wie Hexamethyldisiloxan, Kohlenwasserstoffe wie n-Butan und weitere organische Fluide wie Ammoniak getestet. Die günstigsten Eigenschaften besitzt das Kältemittel R245fa. Mit diesem konnte ein ORC-Wirkungsgrad von 12% unter Beachtung der Wirkungsgrade von Turbine und Pumpe im Auslegungspunkt erreicht werden. Dies entspricht eine Erhöhung der Antriebsleistung des Motors von 12%.

Anlagendesign

Auf Basis der gewonnenen Simulationsdaten werden die Bauteile der Anlage ausgelegt.

Ein kritisches Bauteil der Anlage ist der Abgaswärmetauscher. Dieser ist eine Eigenentwicklung nach dem Kesselverdampferprinzip. Dieser Wärmetauscher stellt sicher, dass das Arbeitsmittel nicht durch das heiße Abgas ther-

misch zersetzt wird und dient zusätzlich als thermischer Puffer.

Die Expansionsmaschine des ORC wird als Turbine ausgeführt. Eine erste Auslegung eines Turbogenerators mit teilbeaufschlagter Radialturbine besitzt einen isentropen Wirkungsgrad von 60 %.

Ausblick

Der ORC geht in die Endphase der Konstruktion. Ein 3D-CAD-Modell wird erstellt und die letzten Bauteile ausgelegt. Eine dynamische Simulation wird für die Analyse des Zusammenspiels zwischen Motor und ORC modelliert. Diese wird u.a. dazu verwendet das Regelungskonzept zu testen und Anfahrvorgänge zu simulieren.

Referenzen

[1] Toyota Motor Corporation, Toyota Announces New Powertrain Units Based on TNGA, 2018.

[2] DEPRAG AG, in: deprag.de, 11.02.2019.



Netze und Transformatoren

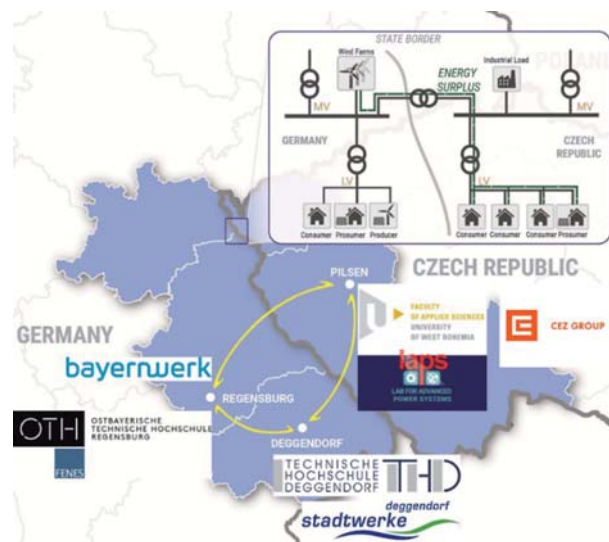
CrossEnergy: Entscheidungsunterstützungstool für die künftige elektrische Energieinfrastruktur

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Die Energiewende stellt viele Netzteilnehmer vor neue Herausforderungen. Gerade Verteilnetzbetreiber sind sehr stark betroffen, da die Anzahl der dezentralen Erzeuger ansteigt und die entsprechenden Netzabschnitte stark ausgereizt werden. Hierzu benötigen die Verteilnetzbetreiber technisch sinnvolle und gleichzeitig wirtschaftlich günstige Lösungen, um das Stromnetz in zulässigen Grenzen stabil zu halten. Um die Möglichkeiten eines Netzausbaus bei der Vielzahl an vorhandenen Lösungsvarianten darzustellen, entwickelt das Forschungsteam im EU-Projekt CrossEnergy ein Entscheidungsunterstützungssystem. Dabei besteht das wissenschaftliche Konsortium aus der Westböhmischen Universität in Pilsen mit Fokus auf den Netzbetrieb, der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg mit Fokus auf der Netzplanung und der Technischen Hochschule Deggendorf mit Fokus auf Energie- und Prognosedaten. Zusammen mit Interessenten aus der Industrie (Bayernwerk, CEZ) konzentriert sich das Forschungsteam bei der Entwicklung des Unterstützungssystems auf die Energieinfrastruktur der länderübergreifenden Netzregion Bayern-Tschechien für eine zukünftige Entwicklung (2030/40/50).

Hierzu soll der Benutzer viele Eingangsdaten und Parameter vorgeben können, zum Beispiel Parameter für eine Kostenrechnung, für eine zukünftige Last- und Erzeugungsentwicklung in seinem Netz sowie bereits verwendete Modelle für die Netztopologie bzw. Netzbetriebsmittel. Anhand des Netzmodells werden Untersuchungen für den zukünftigen Netzausbau durchgeführt und die Ergebnisse zusammen mit technischen und wirtschaftlichen Parametern dem Benutzer präsentiert. Dieser kann dann entscheiden, welche Ausbauvariante er tatsächlich umsetzt oder weitergehende Untersuchungen betreiben. Der Forschungsschwerpunkt der OTH Regensburg liegt in dem Projekt bei der Automatisierung von Netzplanungsschritten.

Das beinhaltet die Konzipierung eines vollautomatischen Einsatzes von Netzausbaumaßnahmen, zum Beispiel die Vergrößerung von Kabelquerschnitten, und deren Umset-



Projektgebiet entlang der bayerisch-tschechischen Landesgrenze

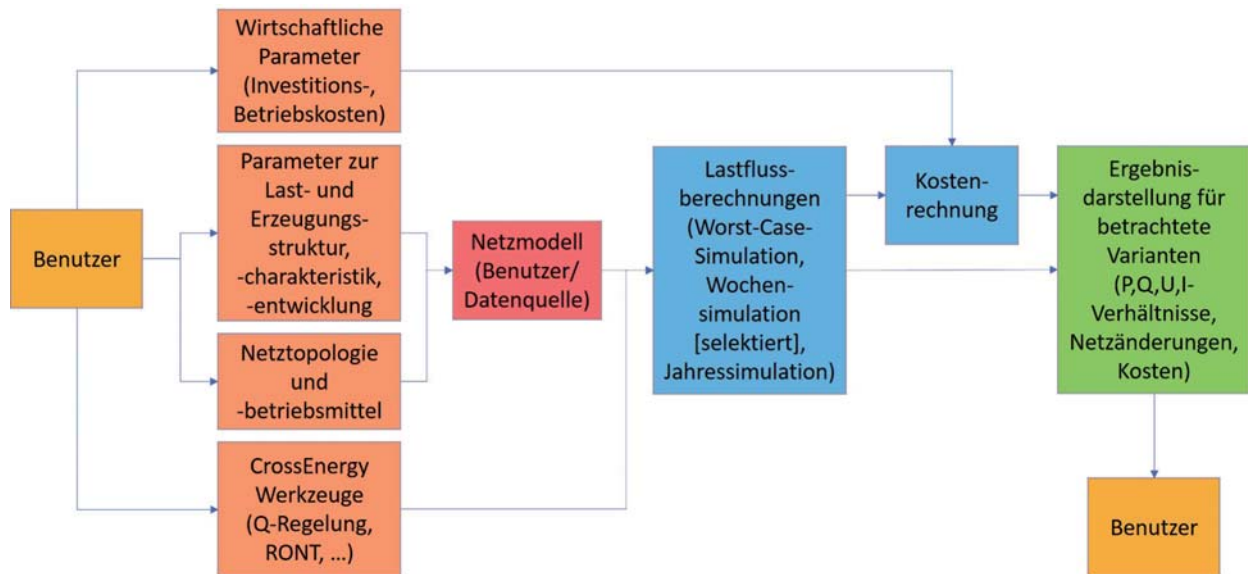
CrossEnergy – Grenzüberschreitende Energieinfrastruktur – Zukunftsvisionen für eine Region im Wandel

Förderzeitraum 2017-01-01 bis 2019-12-31
Bewilligte Summe 267.837 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber
 Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)
Förderprogramm
 Ziel ETZ Freistaat Bayern-Tschechische Republik 2014-2020 (INTERREG V)
Verbundvorhaben
 11 Projektpartner aus Forschung und Industrie





Ablaufplan des Entscheidungsunterstützungssystems

zung in entsprechenden Algorithmen. Die wissenschaftliche Herausforderung dabei ist die Allgemeingültigkeit der Routinen, sodass das Tool mit den unterschiedlichsten Netzstrukturen, Spannungsebenen und Netz-

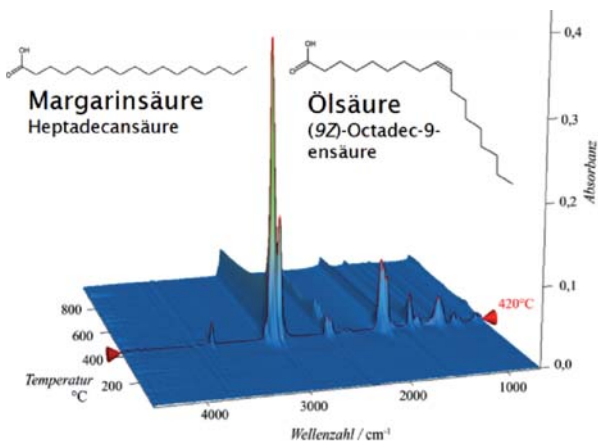
problematiken umgehen kann. Neuartige Aspekte liefern unter anderem spannungsebenenübergreifende Planungsansätze.



Potentiale bei der Umweltverträglichkeit von Transformatorölen

Ein gemeinsames Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl (OTH Regensburg) und Prof. Dr. Peter Kurzweil (OTH Amberg-Weiden) et al.

Transformatoren sind seit geraumer Zeit mit Mineralölen gefüllt, da sie für diesen Zweck optimale thermodynamische und isolatorische Eigenschaften vorweisen. Die biologische Abbaubarkeit und verhältnismäßig niedrige Brennpunkte rücken aber verstärkte Nachhaltigkeits- und Umweltschutzgedanken stärker in den Fokus. Daher stehen alternative Isolierflüssigkeiten in Form von natürlichen Estern im Zuge des Projekts UMTRIS („Umweltverträglichkeit von Transformatorölen – alternative Isolierflüssigkeiten“) auf dem Prüfstand. Um als langfristige Alternative zu Mineralöl eingesetzt werden zu können, untersuchen im Zuge der Kooperation Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von bayerischen und tschechischen Hochschulen gemeinsam die Eignung von natürlichen Estern zum Einsatz in Transformatoren.



Alternatives Transformatoröl

Die technische Universität Prag und die westböhmische Universität Pilsen nehmen in ihren Hochspannungslaboren die dielektrischen Eigenschaften der Öle genauer unter die Lupe. Dabei werden das Durchschlagverhalten als konkreter Parameter der Isolationsfähigkeit und partielle Entladungen unter Belastung von verschiedenen natürlichen Estern im Vergleich zu herkömmlichen Mineralölen untersucht.

Auf bayerischer Seite übernimmt die OTH Amberg/Weiden Untersuchungen zu chemischen Eigenschaften und Parametern durch Strukturanalysen. Dabei werden neben dem Wassergehalt auch thermodynamische Parameter wie die spezifische Wärmekapazität und die Viskosität untersucht. In weiteren Schritten sollen die Eigenschaften für gealterte im Vergleich zu neuen Ölen ermittelt und dargestellt werden.



Hochspannungslabor der Tschechischen Technischen Universität in Prag (ČVUT)

Vonseiten der OTH Regensburg wird durch die Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) unter Leitung von Prof. Brückl an einem simulativen Vergleich der Lebensdauern von Transformatoren mit Mineralöl und natürlichen Estern gearbeitet. Dabei wird ausgehend von einem Alterungsmodell aus Exponentialgleichungen aus der DIN 60076-7 der Fokus auf die sich unterscheidenden Eigenschaften der Öle gelegt. Neben der spezifischen Wärmekapazität sind diese im Modell indirekt dargestellt über den Temperaturgradienten, der Einfluss auf die markante Heißpunkttemperatur nimmt, sowie den Alterungsfaktor bei der Berechnung des Lebensdauerverbrauchs.

UMTRIS – Umweltverträglichkeit von Transformatorölen – alternative Isolierflüssigkeiten

Förderzeitraum 2017-05-01 bis 2020-04-30
Bewilligte Summe 93.700 EUR

Ausführende Stelle
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber
Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat
Bayerisch-Tschechische Hochschulagentur
Förderprogramm
Bayerisch-Tschechische Forschungsverbünde 2017-2020
Verbundvorhaben
5 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Bayerisch-Tschechische Hochschulagentur
Česko-bavorská vysokoškolská agentura

gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat





OPTIBIOSY – Optimierungsmodell für Biogasanlagen im Kontext des zukünftigen Stromsystems

Ein gemeinsames Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl, Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl (OTH Regensburg) und Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch (OTH Amberg-Weiden) et al.

Wie können Biogasanlagen nach dem Auslaufen des EEG noch wirtschaftlich betrieben werden? Mit dieser Frage beschäftigt sich seit September 2018 ein interdisziplinäres Forscherteam der OTH Regensburg, der OTH Amberg-Weiden und des Instituts für Energietechnik IfE GmbH im Rahmen des Projektes OPTIBIOSY.

Bislang profitieren Biogasanlagen stark von den Förderungen aus dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz. Für die meisten Anlagen ist nur durch die staatlichen Zuschüsse ein wirtschaftlicher Betrieb möglich. Durch die sinkenden Strompreise an der Börse können nicht mehr genügend Gewinne erwirtschaftet werden, sodass möglicherweise viele Anlagen nach der 20-jährigen Förderphase stillgelegt werden müssen.

Insbesondere für einen stabilen Betrieb der Stromnetze im Rahmen der Energiewende könnten die Biogasanlagen aber einen wichtigen Beitrag leisten. Verschiedene Systemdienstleistungen, welche bislang aus konventionellen Großkraftwerken erbracht wurden, müssen fortan durch alternative Technologien bereitgestellt werden. Im Projekt OPTIBIOSY wird deshalb die Erbringung von Momentanreserve (Schwungmasse), Blindleistung, die

Unterstützung beim Engpassmanagement der Netzbetreiber und ein Beitrag zum zukünftigen Netzwiederaufbaukonzept durch Biogasanlagen untersucht. In dem interdisziplinären Forscherteam arbeiten Mitarbeiter aus dem Bereich Motorentchnik unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl (Labor für Verbrennungsmotoren), aus dem Bereich Netztechnik unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl (Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher) und aus dem Bereich der Verfahrenstechnik unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch von dem Kompetenzzentrum KWK an der OTH-Amberg-Weiden sowie dem Institut für Energietechnik an der OTH-Amberg-Weiden zusammen.

In der ersten Projektphase wird eine Bestandsanalyse der derzeit installierten Technologien sowie der genutzten Vermarktungsstrategien durchgeführt. Außerdem werden die Bedarfe, die monetären Werte und die technischen Anforderungen an die Anlagen der verschiedenen Systemdienstleistungen untersucht sowie deren Nutzen für den Netzbetreiber analysiert. Als Ergebnis soll im Projekt ein Optimierungsmodell entwickelt werden, welches für verschiedene Biogasanlagentypen die optimale Auslegung und Marktteilnahmestrategien für einen wirt-

OPTIBIOSY – Untersuchung der Potenziale und Entwicklung eines Optimierungsmodells für Biogasanlagen im Kontext des zukünftigen Stromsystems

Förderzeitraum 2018-09-01 bis 2021-08-31
Bewilligte Summe 429.063 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES), Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung (CEEC)

Zuwendungsgeber
 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
Förderprogramm
 Strom und Biomasse in künftigen Energiesystemen
Verbundvorhaben
 12 Projektpartner aus Forschung und Industrie



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

OPTIBIOSY – Untersuchung der Potenziale und Entwicklung eines Optimierungsmodells für Biogasanlagen im Kontext des zukünftigen Stromsystems

Förderzeitraum 2018-06-01 bis 2018-08-31
Bewilligte Summe 16.000 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber
 Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)
Förderprogramm
 Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst



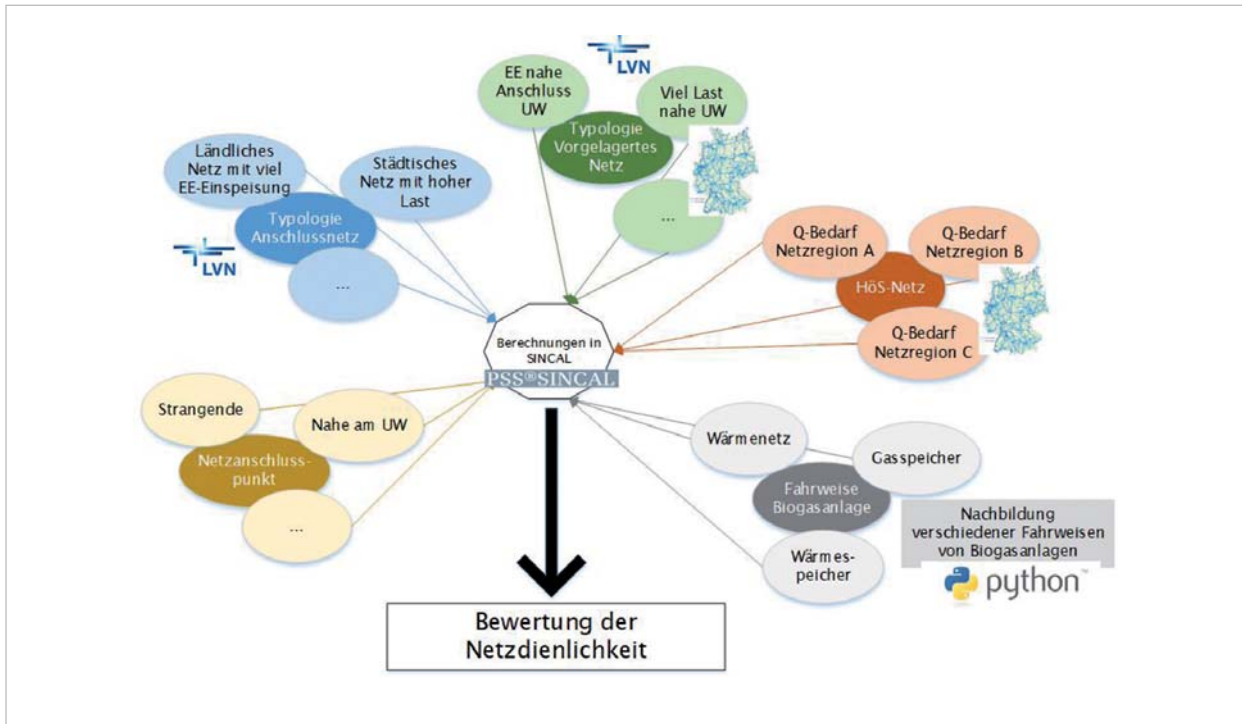


Abb. 1: Untersuchungsszenarien zur Bewertung der Netzdienstlichkeit von Biogasanlagen

schaftlichen Betrieb ermittelt. Unterstützt wird das Forscherteam durch die Assoziation der Unternehmen 2G Drives GmbH, AWITE Bioenergie GmbH, Lechwerke AG

und LEW Verteilnetz GmbH. Organisatorisch wird das Projektteam durch das Regensburg Center of Energy and Resources (RCER) unterstützt.

Erschließung der Flexibilitätspotenziale eines Trinkwasserversorgungssystems in der C/sells-Demonstrationszelle „Cham und Umgebung“

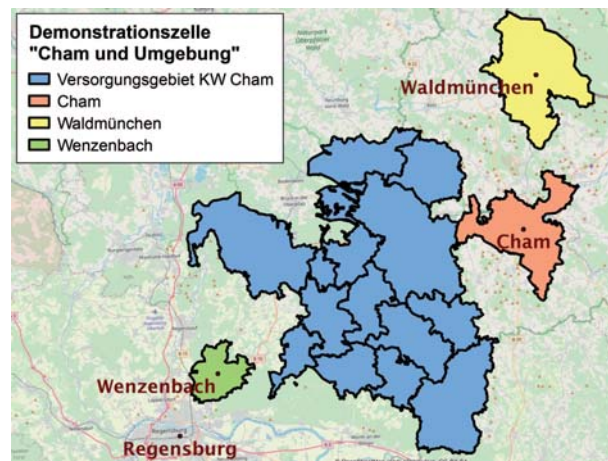
Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl et al.

Kann ein flexibler Einsatz von Trinkwasserpumpen zur Netzentlastung in kritischen Zeitpunkten beitragen? Dieser Frage geht die OTH Regensburg im Projekt C/sells in Zusammenarbeit mit den Kreiswerken Cham nach. Im Vordergrund der Untersuchungen steht dabei, welche Leistung gesichert zur Verfügung gestellt und wie diese in der Netzplanung verankert werden kann. Ein weiterer Aspekt ist eine praxistaugliche Ermittlung und Bewertung der Flexibilität, um die Übertragbarkeit auf andere Versorgungsgebiete zu ermöglichen.

Neben der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), die das entsprechende Arbeitspaket leitet, sind auch das Bayernwerk, die Consolinno ENERGY, die Stadtwerke Cham und die Stadtwerke Waldmünchen an der Demonstrationszelle „Cham und Umgebung“ beteiligt.

Modellierung des Versorgungsgebietes

In Zusammenarbeit mit den Kreiswerken Cham wurde an der OTH Regensburg ein Modell des Trinkwasserversorgungsgebietes mit allen relevanten Pumpen und Hochbehältern erstellt. Mithilfe des Modells kann das gesicherte, für die Netzplanung geeignete Flexibilitätspotenzial anhand der Leistungsabweichung gegenüber dem regulären Fahrplan, der Einsatzdauer, dem Einsatzzeitpunkt und der Pause zwischen den Flexibilitätsabrufen charakterisiert werden.



Geografische Lage der Demonstrationszelle „Cham und Umgebung“

Mit kürzerer Einsatzzeit und längerer Pausenzeit zwischen den Flexibilitätsabrufen steigt das Leistungspotenzial. Beispielsweise ergibt sich für alle Sonntage im Sommer in der Mittagszeit ein über 4 Stunden durchgängiges, gesichertes Flexibilitätspotenzial von ca. 150 kW elektrischer Leistung. Durch eine vereinfachte Hochrechnung über die Bevölkerung (40.000 Einwohner im Versorgungsgebiet, 83 Mio. Einwohner in Deutschland) lässt sich im betrachteten Zeitraum ein bundesweites 4-h-Potenzial von ca. 300 MW abschätzen.

Umsetzbarkeit in der Praxis

Aktuell sind die Stromkosten der Kreiswerke Cham, wie bei Gewerbe- und Industriebetrieben üblich, an einen Leistungspreis gekoppelt. Das Ziel ist deshalb, die Leistungsspitze im Jahresverlauf aus wirtschaftlichen Gründen möglichst gering zu halten. In einem Feldversuch soll daher vordergründig untersucht werden, inwiefern der Einsatz von Flexibilität in der Trinkwasserversorgung technisch umsetzbar ist. Dazu wird ein Flexibilitätsfahrplan (Leistungsabweichung vom bisherigen Fahrplan der Pumpen) automatisiert an der OTH Regensburg erstellt und an die Kreiswerke Cham übermittelt. Im Hauptpumpwerk wird der Flexibilitätsabruf mithilfe einer modifizierten Anlagensteuerungssoftware umgesetzt.

C/sells – Das Energiesystem der Zukunft im Sonnenbogen Süddeutschlands

Förderzeitraum 2017-01-01 bis 2020-12-31
Bewilligte Summe 565.433 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber
 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

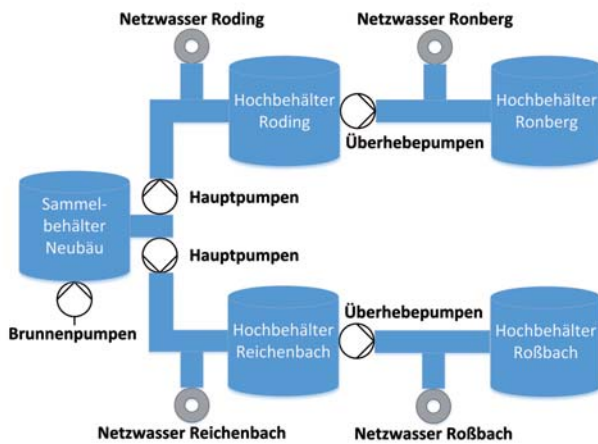
Förderprogramm
 Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG)

Verbundvorhaben
 60 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Schematischer Aufbau des Pumpenmodells der Kreiswerke Cham

Einsatz von Flexibilität in der Netzplanung

Parallel laufen Untersuchungen, inwiefern sich der flexible Einsatz der Verbrauchsanlagen in der Netzplanung verankern lässt. Dazu werden Mittel- und Hochspannungsnetze modelliert und zukünftige Einspeise- und Lastsituationen (Zubau von Photovoltaikanlagen, Entwicklung der E-Mobilität) prognostiziert, um kritische Zeit- und Netzbereiche zu identifizieren. Darauf aufbauend wird analysiert, welche netzseitigen Anforderungen an die Leistungs- und Arbeitsverfügbarkeit sowie die Verlässlichkeit der Flexibilität zu stellen sind. Über eine Abschätzung von erforderlichen, konventionellen Netzausbaukosten wird eine wirtschaftliche Bewertung der Flexibilität ermöglicht.

Speziell der kumulierte Flexibilitätsbeitrag mehrerer Mittelspannungsverbraucher zur Vermeidung von kostenintensivem Netzausbau im Hochspannungsnetz erscheint als zukunftsfähiges Werkzeug für Netzbetreiber – wohlwissend, dass der regulatorische Rahmen hierfür noch anzupassen ist.



NetzEntwicklungsOffensive Strom – neos

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl et al.

Im Zuge der Energiewende werden die erneuerbaren Energien zur tragenden Säule unserer Stromversorgung. Bis 2025 sollen bundesweit 40-45% des Stroms aus erneuerbaren Quellen stammen, bis 2050 sogar 80%. Der erzeugte Strom stammt dabei hauptsächlich aus Wind und Sonne. Im Norden der Bundesrepublik wird Wind die Erzeugung dominieren, während im Süden, insbesondere in Bayern, der Strom vornehmlich aus Photovoltaik gewonnen wird. Um die Ziele der Energiewende zu erreichen, ist neben ausreichenden Erzeugungskapazitäten auch eine leistungsfähige Infrastruktur zur Verteilung und Nutzung des erneuerbaren Stroms notwendig. Planbarkeit und Sicherung der Versorgungsqualität bei zunehmenden Anteilen von volatiler Erzeugung stellen dabei eine große Herausforderung dar.

Das Projekt neos baut auf Grundlagen auf, die im Rahmen von bereits abgeschlossenen Projekten am ZAE Bayern und der OTH Regensburg erarbeitet wurden. In neos wird die umfangreiche Datenbasis aus den im bisherigen Projekt „Smart Grid Solar“ (SGS) betrachteten Niederspannungsnetzen durch eine systematische Ausweitung der Datenerfassung auf höhere Netzebenen ausgebaut. Darüber hinaus wird das Reallabor durch neue Technologien aus den Bereichen der Transformatoren und Regelkomponenten ergänzt, um diese im Betrieb zu charakterisieren. In die Entwicklung geeigneter Modelle für die physikalische und wirtschaftliche Simulation mit Eingangsdaten fließen die Erkenntnisse aus dem Betrieb im Reallabor mit ein. Aus diesen Modellen werden dann Betriebsstrategien entwickelt und im Reallabor validiert. Dadurch entsteht ein Systemverständnis, welches leicht transferierbar ist und auf andere Netzgebiete übertragen werden kann.



Testzentrum in Arzberg (Foto: ZAE Bayern)

Messdatenerhebung

Die Belastung des Netzes durch hochfrequente Einflüsse, die beispielsweise durch Leistungselektronik in Erzeugungs-, Speicher- und Bezugsanlagen oder sonstige Ereignisse (z. B. Schaltvorgänge) hervorgerufen werden, gewinnen zunehmend an Bedeutung und ihr Einfluss auf die Netzqualität und die Lebensdauer von Netzbetriebsmitteln wird immer relevanter. In neos werden deshalb erstmals an fünf ausgewählten Orten in Bayern Messpunkte zur detaillierten Erfassung und Bewertung von höheren Oberschwingungen und kurzzeitigen transienten Vorgängen eingerichtet.

Spannungsqualität

Bisher weist Deutschland höchste Versorgungsqualität der elektrischen Energieversorgung auf. Allerdings berichten einige Unternehmen in Bayern bereits von höheren Anforderungen an diese und ersten potentiellen Beeinträchtigungen. Zur langfristigen Sicherung des Wirtschaftsstandortes Bayern untersucht neos diese Phänomene und erarbeitet bedarfsorientierte Lösungsmöglichkeiten auf Seiten der Industrieunternehmen und der Netzbetreiber.

Intelligenter Transformator

Smarte Betriebsmittel und cloudbasierte Transformatorregelungen sind eine vielversprechende Möglichkeit, die Digitalisierung im Stromnetz gewinnbringend zu nutzen. Solche Features sind beispielsweise Regelalgorithmen mit abgesetzten Spannungssensoren für regelbare Ortsnetztransformatoren oder proaktive Kühlstrategien für Umspannwerkstransformatoren. Solche Technologien werden u. a. im Reallabor Arzberg entwickelt und erprobt.

Zukünftige Netzbelastung

Die Netzbetreiber müssen in Zukunft neben den erneuerbaren Energien auch die Elektromobilität effizient, für den Kunden höchst komfortabel, aber dennoch für die Volkswirtschaft möglichst kostengünstig integrieren. In neos wird deshalb eine Prognose für die Entwicklung der zukünftigen Netzbelastung unter Einbezug von Verbraucher, Erzeuger und Speicher erarbeitet.

neos – NetzEntwicklungsOffensive Strom

Förderzeitraum 2017-09-01 bis 2020-08-31

Bewilligte Summe 445.895 EUR

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie/ ZAE Bayern

Verbundvorhaben

6 Projektpartner aus Forschung und Industrie



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



KoKWK – Kompetenznetzwerk Kraft-Wärme-Kopplung

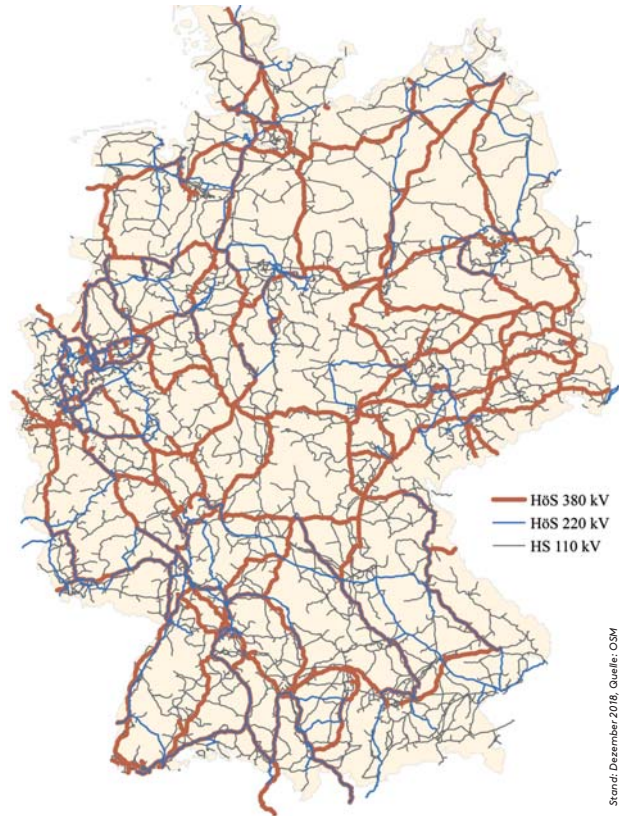
Ein gemeinsames Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl (OTH Regensburg) und Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch (OTH Amberg-Weiden) et al.

Das Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung der OTH Amberg-Weiden bündelt seit 2012 die Forschungsaktivitäten und das Know-how der Fakultät für Maschinenbau/Umwelttechnik und ihrer Partner im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Durch die Überführung im Jahr 2017 in ein Kompetenznetzwerk Kraft-Wärme-Kopplung KoKWK, bestehend unter anderem aus einer Kooperation zwischen der OTH Amberg-Weiden und der OTH Regensburg, können die Themenfelder rund um die KWK vollumfassend bearbeitet werden.

Hier kann sich die OTH Regensburg, neben den Forschungskompetenzen auf den Gebieten Energieerzeugung, Energieeffizienz und Energiespeicher insbesondere mit der Expertise im Bereich der Stromnetze einbringen. Dadurch kann das Themenfeld elektrische Energieverteilung abgedeckt werden. Die Forschungsschwerpunkte des Projekts der OTH Amberg-Weiden liegen dabei auf der Verbesserung der Energieeffizienz, Reduzierung der Emissionen, dem Einsatz von Brennstoffen aus Biomasse und Weiterentwicklung neuer innovativer KWK-Systeme und -verfahren.

Übergeordnetes Ziel der Forschungsarbeiten im Forschungsverbund ist die Erweiterung des Einsatzspektrums und die Flexibilisierung der Kraft-Wärme-Kopplung in allen Bereichen, angefangen von der Verbreiterung der nutzbaren Brennstoffbasis durch Sonderbrennstoffe über exergetisch hochwertige Wärmenutzungen (Dampf, Abwärmeverstromung, ...) oder die Kälteerzeugung, bis hin zur Erbringung von Systemdienstleistungen im elektrischen Netz und die digitale Vernetzung in kommunalen und industriellen Energieversorgungssystemen.

Nachdem in der ersten Förderphase der methodische Schwerpunkt auf der Entwicklung der Infrastruktur des Prüfstandes und der experimentellen Messmethoden lag, sollen nun in der zweiten Phase verstärkt computergestützte Entwicklungsmethoden eingesetzt und weiterentwickelt werden. Das Ziel der Forschungsarbeiten der OTH Regensburg ist es, die möglichen Systemdienstleistungen von KWK-Anlagen hinsichtlich ihres technischen und wirtschaftlichen Nutzens bewerten zu können. Dies soll auf Basis eines weiterentwickelten, deutschlandweiten Netzmodells mit allen Spannungsebenen erreicht werden. Über bestimmte Charakteristiken, z. B. Einfluss der „Wärme/Strom-Kopplung“ im betrachteten Versorgungsgebiet, kann das Potenzial der KWK-Anlagen nicht



Stand: Dezember 2016, Quelle: OStM

Abb. 1: Stromnetz von Deutschland in den Ebenen Hochspannung (HS) und Höchstspannung (HöS)

nur standortscharf, sondern auch in einer deutschlandweiten Simulation tages- und jahreszeitabhängig analysiert werden.

KoKWK – Kompetenznetzwerk Kraft-Wärme-Kopplung

Förderzeitraum 2017-01-01 bis 2020-12-31
Bewilligte Summe 529.000 EUR

Ausführende Stelle
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber
Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
Verbundvorhaben
10 Projektpartner aus Forschung und Netzwerk Industrie und Kommunen

Gekoppelte hydraulische und thermische Modellierung von Trockentransformatoren mit erzwungener Kühlung

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Thomas Lex

Einführung

In diesem kooperativen Forschungsprojekt zwischen der OTH-Regensburg und der SGB-SMIT GmbH soll ein analytisches multiphysikalisches Netzmodell zur Berechnung der Erwärmung von Trockentransformatoren, welche mit erzwungener Konvektion gekühlt werden, aufgebaut werden.

Für die Auslegung und Konzeptionierung von Trockentransformatoren (Abb. 1), auch Gießharztransformatoren genannt, ist ein solches Modell von entscheidender Bedeutung, um die Temperaturverteilung in den Transformatorwicklungen schon bei der Auslegung zu kennen. Zum Vergleich mit dem analytischen Netzmodell soll auch eine multiphysikalische FEM-Simulation in COMSOL Multiphysics durchgeführt werden.

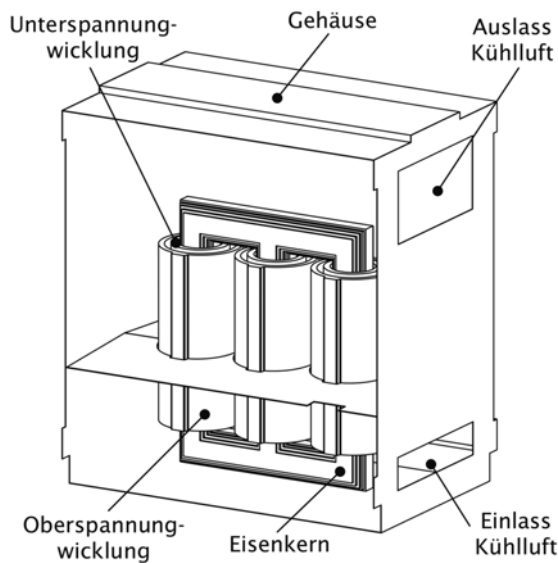


Abb. 1: Aufbau von Trockentransformatoren mit allen wesentlichen Komponenten.

Hydraulisches Netzmodell

Um die für den konvektiven Wärmeübergang wesentlichen strömungsmechanischen Größen im Transformator analytisch bestimmen zu können, wird ein hydraulisches Netzmodell erstellt. Alle druckverlusterzeugenden Komponenten und Effekte können, in Analogie zur Elektrotechnik, auch in der Strömungsmechanik mit sogenannten Strömungswiderständen zu einem Ersatzmodell zusammengefasst werden. Mithilfe der Kirchhoffschen Regeln kann dann das strömungsmechanische Ersatzmodell gelöst werden und es ergeben sich daraus Geschwindigkeiten bzw. Massenströme in den Kühlkanälen.

Thermisches Netzmodell

Um die Temperaturverteilung in den Wicklungen des Transformators bestimmen zu können, muss die Wärmeleitungs-differenzialgleichung gelöst werden. Da es sich bei den Wicklungen bzw. dem Eisenkern um rotations-symmetrische Geometrien handelt, kann das thermische Problem zweidimensional modelliert werden. Um die 2D-Wärmeleitungs-differenzialgleichung lösen zu können, müssen die Wicklungen, die Kühlkanäle und der Eisenkern zunächst diskretisiert werden.

Für die Lösung der Differenzialgleichung, durch Überführung in ein lineares Gleichungssystem, wird die Finite-Volumen-Methode eingesetzt. Bei dieser Methode wird für jedes diskrete Volumenelement die Energiegleichung:

$$\underbrace{\dot{Q}_Q}_{\text{Wärmequelle}} + \underbrace{\dot{Q}_{L+}}_{\text{Wärme durch Leitung in das Element hinein}} = \underbrace{\dot{Q}_{L-}}_{\text{Wärme durch Leitung aus dem Element hinaus}} + \underbrace{\dot{Q}_S}_{\text{Wärmeabgabe durch Strahlung}} + \underbrace{\dot{Q}_K}_{\text{Wärmeabgabe durch Konvektion}} \quad (1)$$

mit allen Wärmeströmen aufgestellt.

Aus diesen Energiegleichungen kann dann ein lineares Gleichungssystem aufgestellt und somit das thermische Problem gelöst werden.

Kopplung der beiden Netzmodelle

Die Verbindung der beiden Netzmodelle zu einem multiphysikalischen Modell erfolgt nach Abbildung 2. Strömungsgeschwindigkeiten aus dem Druckmodell werden mit Hilfe von NuBelt-Korrelationen in Wärmeübergangskoeffizienten umgerechnet. Mit Hilfe der Stoffdatenbank CoolProp werden alle temperaturabhängigen Stoffwerte bestimmt und den Netzmodellen zur Verfügung gestellt.

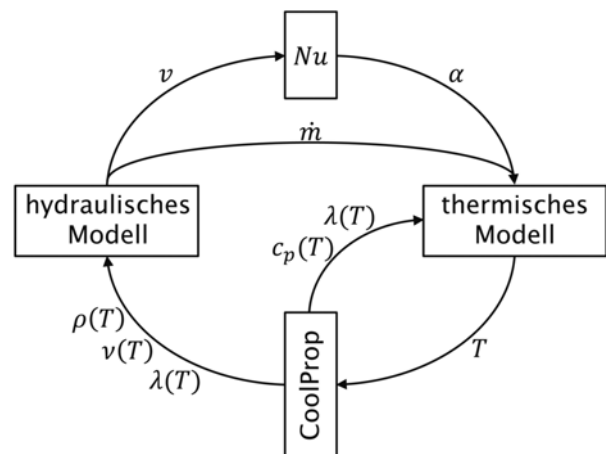


Abb. 2: Kopplungsschema der beiden Netzmodelle.

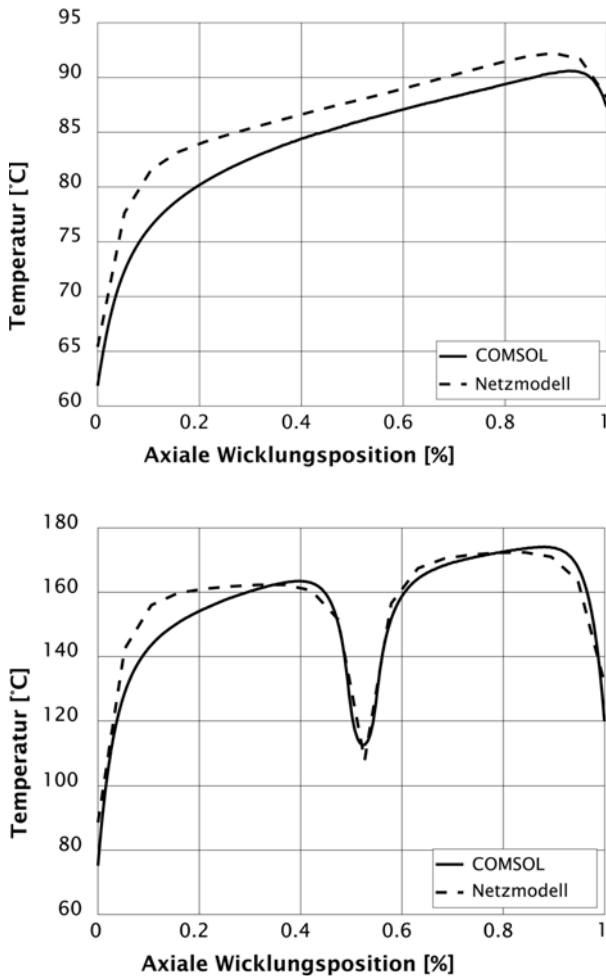


Abb. 3: „Vergleich zwischen den axialen Temperaturverläufen aus dem Netzmodell sowie der COMSOL-Simulation in der US-Wicklung (oben) bzw. OS-Wicklung (unten).“

Ergebnisse

Nach Durchlaufen der Kopplungsschleife aus Abbildung 2 kann ein Vergleich zwischen COMSOL Simulationsmodell und der Netzmodellberechnung durchgeführt werden. In Abbildung 3 sind die axialen Temperaturverläufe in der Oberspannungswicklung (OS-Wicklung) bzw. Unterspannungswicklung (US-Wicklung) zu sehen.

Fazit und Ausblick

Der Vergleich zwischen numerischer Simulation und Netzmodell zeigt, dass die Temperaturverläufe in der US-Wicklung $\pm 5\%$ voneinander abweichen, in der OS-Wicklung $\pm 3\%$. Somit liefern beide Ansätze sehr vergleichbare Werte. Die Netzmodellierung bietet gegenüber der Simulation jedoch den Vorteil, dass die Berechnung nur wenige Sekunden anstatt mehrerer Stunden dauert. Somit kann die Netzmodellierung im Auslegungsprozess von Gießharztransformatoren zeitsparend eingesetzt werden, was vor allem im Projektgeschäft von großer Bedeutung ist.

Um die Ergebnisse der Simulation bzw. Netzmodellierung validieren zu können, müssen noch Messungen an Transformatoren durchgeführt werden. Nach der Validierung muss das multiphysikalische gekoppelte Netzmodell noch parametrisiert werden und kann dann in der Transformatorauslegung eingesetzt werden.

Untersuchungen zur Gehäusekühlung eines Transformators

Projektzeitraum 2018-05-01 bis 2019-04-30

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Labor für Kraft-Wärme-Kälte

Auftraggeber

Starkstrom-Gerätebau GmbH, Regensburg





TRAST – Forschung an Transformatoren und Monitoringsystem – Herausforderungen künftiger Stromnetze

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl, Prof. Dr.-Ing. Franz Fuchs, Prof. Dr.-Ing. Thomas Lex und Prof. Dr.-Ing. Marcus Wagner

Der laufende Prozess der Energiewende und die damit verbundenen Änderungen im Energiesystem stellen für das bestehende Stromnetz eine massive Herausforderung dar. Durch den Wandel zu überwiegend dezentraler Erzeugung von Strom wird es notwendig einen weitgreifenden Um- und Ausbau der Übertragungs- und Versorgungsnetze in Deutschland voranzutreiben. Neben den Netzen stehen auch Betriebsmittel wie Transformatoren stärker im Fokus, die Leistung zwischen Spannungsebenen übertragen. Sie gewährleisten somit, dass beispielsweise im Norden Deutschlands erzeugter Windstrom ins Höchstspannungsnetz eingespeist und in den Süden Deutschlands, wo er gebraucht wird, transportiert werden kann. In unserer Gesellschaft nimmt eine störungsfreie Stromversorgung nicht zuletzt durch die fortschreitende Digitalisierung einen immer höheren Stellenwert ein. Die Anforderungen an die Betriebsmittel zur Erzeugung und Übertragung von Energie können im Wesentlichen als Dreieck dargestellt werden, das in einer optimalen Balance aus Versorgungssicherheit, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit stehen soll.

Aus diesen Gründen stehen im Zuge des Kooperationsprojekts TRAST (Forschung an TRANSformatoren und MonitoringsySTEM – Herausforderungen künftiger Stromnetze) Transformatoren im Mittelpunkt der Untersuchungen. Ziel ist ein erheblich verbessertes Transformator-Design. Die Verluste innerhalb des Transformators beeinflussen die Wärmeverteilung. Durch eine optimierte



Modelltransformator an der OTH Regensburg

Konstruktion können diese reduziert und somit Hotspots vermieden werden, wodurch sich die Lebensdauer des Transformators verlängert. Elektromagnetische Feldberechnungen im Eisenkern und den Wicklungen des Transformators stellen die Grundlagen zur Verbesserung der Konstruktion dar. Dazu werden die Erkenntnisse über die genaue Verteilung der Felder – und damit der Verluste – aus den Simulationen eingebracht. Die Alterung von Transformatoren ist maßgeblich bestimmt durch deren thermische Belastung. Das Modell zur Temperaturverteilung ist die Basis zur Weiterentwicklung eines bestehenden thermischen Normmodells, das punktuell erweitert werden soll. Hintergrund ist, dass die Prognose der Lebensdauer durch weitere Verfeinerung dieses Modells genauere Ergebnisse liefert. Damit ist gewährleistet, dass für Transformatoren im Betrieb ein zuverlässigerer Austauschzeitpunkt ermittelt und damit die Wertschöpfung erhöht wird.

Außerdem werden auch Untersuchungen zur Entwicklung eines Kesselresonanzmodells durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen ist die Entwicklung von Designkriterien zur Geräuschreduzierung von Transformatoren. Die theoretischen und simulativen Erkenntnisse der vorangehend beschriebenen Aufgabenstellungen werden durch Messungen an Transformatoren durch die Starkstrom Gerätebau GmbH verifiziert. Gemeinsam mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der OTH Regensburg werden aus praktischen und theoretischen Erkenntnissen Rückschlüsse auf Verbesserungen des Transformator-Designs zur Steigerung von Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit gezogen.

TRAST – Forschung an Transformatoren und Monitoringsystem – Herausforderungen künftiger Stromnetze

Förderzeitraum 2018-05-01 bis 2021-06-30

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES), Labor für Kraft-Wärme-Kälte, Labor für Finite-Elemente-Methode

Zuwendungsgeber

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie/SGB

Förderprogramm

Bayerisches Energieforschungsprogramm



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



Q-INTEGRAL – Aktives Blindleistungsmanagement mit dynamischen Blindleistungsquellen an der Schnittstelle Verteilungsnetz und Übertragungsnetz

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl et al.

Durch die in Deutschland eingeleitete Energiewende ergibt sich ein tiefgreifender Strukturwandel unseres Elektrizitätsversorgungsnetzes. Durch bidirektionale Lastflüsse, volatilen Einspeisecharakteristiken und erhöhte Leistungsgradienten ergeben sich große Herausforderungen für einen sicheren und stabilen Betrieb der Stromnetzinfrasturktur. Bestehende Konzepte für den Netzbetrieb und die Netzplanung müssen daher weiterentwickelt werden. In diesem Zusammenhang bedarf es insbesondere tiefgreifender Veränderungen des sogenannten Blindleistungsmanagements.

Die OTH Regensburg widmet sich zusammen mit den beteiligten ostdeutschen Netzbetreibern im Forschungsprojekt der Teilaufgabe, wie ein Netz geplant werden kann, welches den künftigen Herausforderungen gewachsen ist. Es sollen verschiedene Optionen analysiert werden, auf welche Art im Netz Blindleistung kostengünstig und effizient bereitgestellt und in der Netzplanung berücksichtigt werden kann, zum Beispiel durch Erneuerbare Energie-Anlagen oder betriebliche Kompensationsanlagen. Die Entwicklung eines Netzplanungsprozesses erfordert sowohl eine vertikal übergreifende (über Netzebenen hinweg), als auch eine horizontal angelegte (für benachbarte Netzbetreiber) Betrachtung und ist ein bis dato nicht näher untersuchter Forschungsaspekt (vgl. Abbildung 1). Gemeinsam mit der KBR Kompensationsanlagenbau GmbH erarbeitet die OTH Regensburg dafür außerdem ein internes Blindleistungsmanagement für Betriebe, welches in einem Feldtest evaluiert wird.

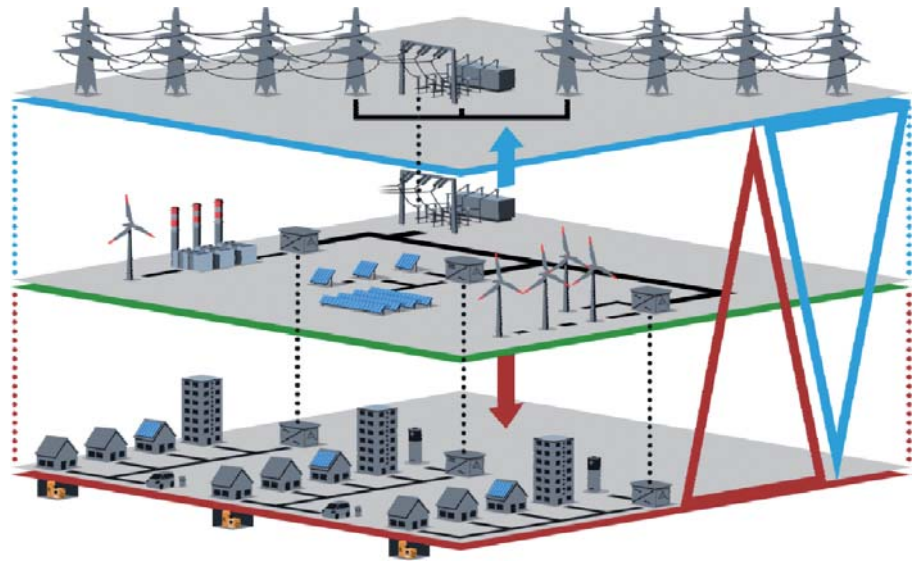


Abb. 1: Entwicklung eines Netzplanungsprozesses mit netzbetreiber- und spannungsebenenübergreifender Betrachtung von Blindleistungsausgleichsvorgängen

Q-Integral – Aktives Blindleistungsmanagement mit dynamischen Blindleistungsquellen an der Schnittstelle Verteilungsnetz und Übertragungsnetz

Förderzeitraum 2019-04-01 bis 2022-03-31
Bewilligte Summe 369.151 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber
 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Förderprogramm
 6. Energieforschungsprogramm
Verbundvorhaben
 8 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages



SyNErgie – Systemoptimierendes Netz- und Energiemanagement für die Verteilungsnetze der Zukunft

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Durch die Veränderung unserer Stromnetzinfrastruktur verschiebt sich die Erzeugungsleistung von konventionellen zentralen Kraftwerken hin zu erneuerbaren dezentralen Energieanlagen. Daraus ergeben sich große Herausforderungen in Bezug auf die Bereitstellung und Erbringung von Netzsystemdienstleistungen, die für einen sicheren und stabilen Netzbetrieb erforderlich sind. Darunter fällt u. a. die sog. Blindleistung, die bisher aus Großkraftwerken zur Verfügung gestellt worden ist.

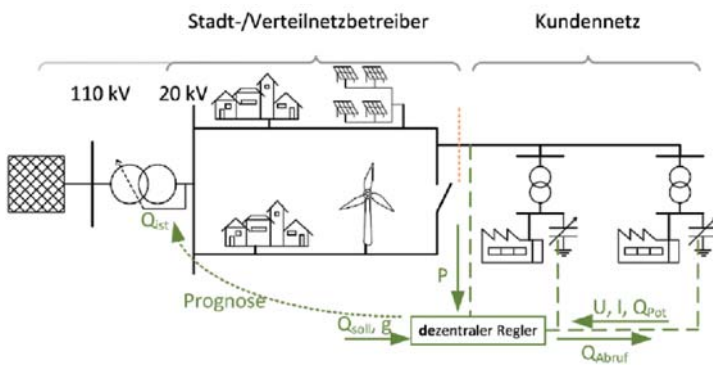


Abb. 1: Steuerungsprinzip eines dezentralen Blindleistungsregelsystems, bei dem das Ist-Blindleistungsverhalten des Mittelspannungsnetzes auf Basis lokaler Messgrößen prognostiziert und ausgeregelt wird.

Mit der Frage, wie die Blindleistung aus alternativen Quellen bereitgestellt werden kann, beschäftigte sich die OTH Regensburg mit der Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten dreijährigen Forschungsprojektes SyNErgie.

Der Projektverbund setzte sich aus den Netzbetreibern Mainfranken Netze GmbH und Main-Donau-Netzgesellschaft mbH, den Kompensationsanlagenherstellern FRAKO Kondensatoren- und Anlagenbau GmbH und KBR GmbH sowie der OTH Regensburg zusammen. Gemeinsam konnten verschiedene Blindleistungsmanagementstrategien für Verteilungsnetze entwickelt und im Rahmen eines Feldversuchs erfolgreich getestet werden. Dabei wurden betriebliche Kompensationsanlagen mit weiterentwickelten Blindleistungsreglern ausgestattet, die es ermöglichen, den Blindleistungshaushalt eines Betriebes netzdienlich zu beeinflussen. Abbildung 1 zeigt ein solches Steuerungskonzept, bei dem Blindleistungsquellen (hier: Kompensationsanlagen im Kundennetz) auf Basis lokaler Führungsgrößen geregelt werden, um den Blindleistungshaushalt des gesamten Anschlussnetzes positiv zu beeinflussen.

Darüber hinaus wurden Messdaten von den eingebundenen Betrieben, Erzeugungsanlagen sowie zahlreichen Verbrauchern erhoben und ausgewertet. Dadurch konnten interessante Blindleistungspotenziale vonseiten mittelständischer Unternehmen identifiziert werden. Darauf aufbauend entwickelte der Projektverbund bestehende Netzmodelle und Netzplanungsansätze weiter.

Auch über das abgeschlossene Förderprojekt hinaus arbeitet der Verbund zusammen, indem die Messung von Verbrauchern fortgeführt wird. Die Erkenntnisse des Projektes fließen zudem in das darauf aufbauende Forschungsprojekt Q-Integral ein, das im April 2019 gestartet ist.

SyNErgie – Systemoptimierendes Netz- und Energiemanagement für die Verteilungsnetze der Zukunft

Förderzeitraum 2015-03-01 bis 2018-05-31
Bewilligte Summe 757.797 EUR

Ausführende Stelle
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Förderprogramm
Zukunftsfähige Stromnetze im 6. Energieforschungsprogramm
Verbundvorhaben
4 Projektpartner aus der Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

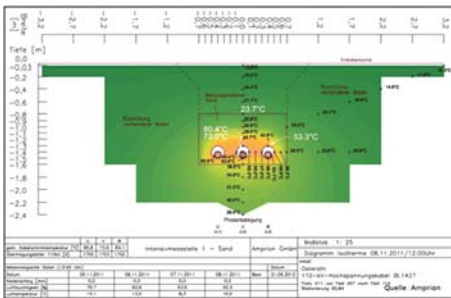


Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit von Bettungsmaterialien

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Thomas Neidhart

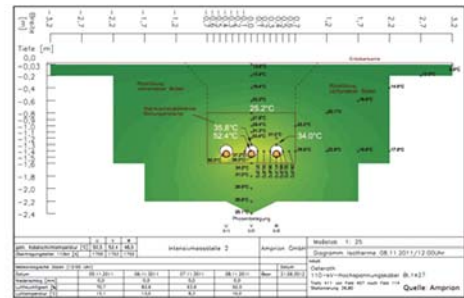
Der weitere Ausbau der regenerativen Energien bringt das bestehende Übertragungsnetz an kapazitive Grenzen. Leitungen sollen zukünftig bevorzugt unterirdisch verlegt werden. Entscheidend für die Effizienz von erdverlegten Stromleitungen ist die Wärmeabfuhr. Mit steigender Temperatur erhöhen sich auch die Leiterverluste. Bislang konnte nur empirisch nachgewiesen werden, dass die Wärmeableitung in zeitweise fließfähigen Verfüllbaustoffen (ZFV) effizienter ist als in Sand (s. Abb. 1). Im Zuge dieses Forschungsprojektes sollen die Wärmetransportmechanismen in ZFV und Sand wissenschaftlich untersucht und nachgewiesen werden.

Für den Nachweis der Wärmeabfuhr wurden insgesamt 3 Versuchsbehälter gebaut. Diese wurde mit ZFV aus mittelplastischem Ton (ZFV-TM), aus tonigem Kies (ZFV-GT) und Sand (DS) befüllt. Um die Auswirkungen langfristiger Temperatureinflüsse untersuchen zu können, wurden die Behälter mittels einer Silikonheizmatte auf konstant 60°C erwärmt. Pro Behälter wurden 10 Temperatursensoren, 5 Tensiometer, 3 Feuchtesensoren und 2 Wärmeleitfähigkeitssensoren verbaut. Die Versuchslaufzeit beträgt > 150 Tage, um die Austrocknungsgefahr beurteilen zu können.



Erdkabel in Sandbettung

- ZFV-Bettung**
- optimale Bettung
 - hohe Wärmeleitfähigkeit
- ↓
- Langlebigkeit
 - Leistungsfähigkeit
 - Schonung der Ressourcen!



Erdkabel in ZFV

Abb. 1: Temperaturverteilung am Testfeld Osterath (Amprion)

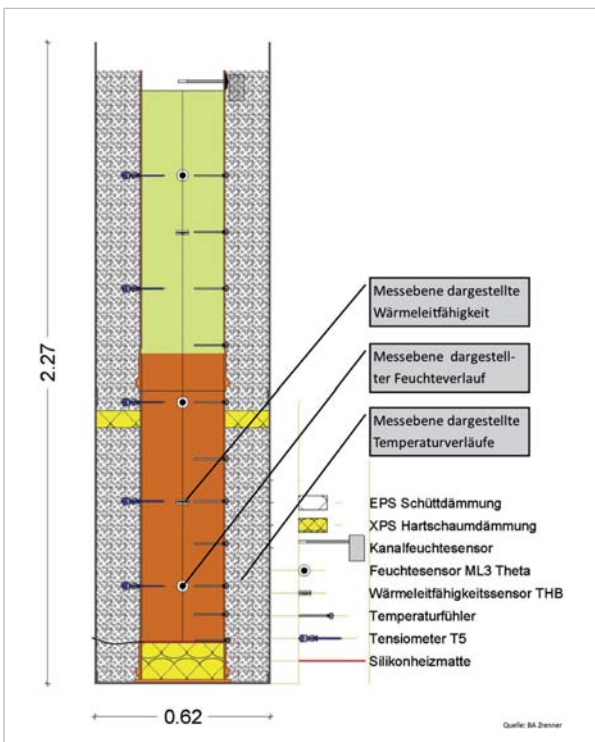


Abb. 2: Aufbau Versuchsbehälter

Das Diagramm 1 (s. Abb. 4) zeigt die Temperaturverläufe der drei Böden. Die Temperatur des ZFV-GT ist in den unteren Bereichen am höchsten, somit hat dieser die höchste Wärmeabfuhr im Gegensatz zum ZFV-TM und Sand DS. Dies spiegelt sich auch im Diagramm 3 (s. Abb. 6) der Wärmeleitfähigkeit (WLFK) wieder. Aus Diagramm 2 (s. Abb. 5) ist ableitbar, dass der Feuchtegehalt über die bisherige Versuchslaufzeit im ZFV nahezu konstant ist.

Entwicklung und Aufbau eines Messplatzes zur Eignungsprüfung von Bettungsmaterialien für Erdverkabelungen

Förderzeitraum 2018-05-01 bis 2018-12-31
 Bewilligte Summe 27.750 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Labor für Geotechnik

Zuwendungsgeber
 Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)
 Förderprogramm
 Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

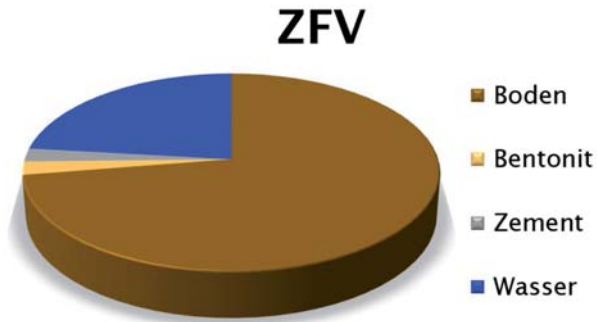


Abb. 3: Zeitweise Fließfähige Verfüllbaustoffe (ZFV)

Obwohl der ZFV-TM den höchsten Feuchtegehalt hat, ist die WLFK des ZFV-GT höher, bedingt durch das enthaltene Kieskorn. Der Sand hat die geringste WLFK, hauptsächlich aufgrund des hohen Anteils an Luftporen in der Bodenmatrix. Auch trocknet er im Bereich der Heizquelle komplett aus. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die WLFK nicht nur von dem Feuchtegehalt, sondern ebenso von der Zusammensetzung der Bodenmatrix bestimmt wird.

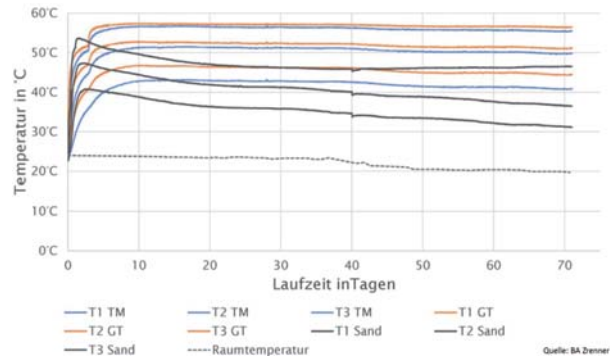


Abb. 4: Verläufe der untersten 3 Temperaturfühler in allen Versuchsständen

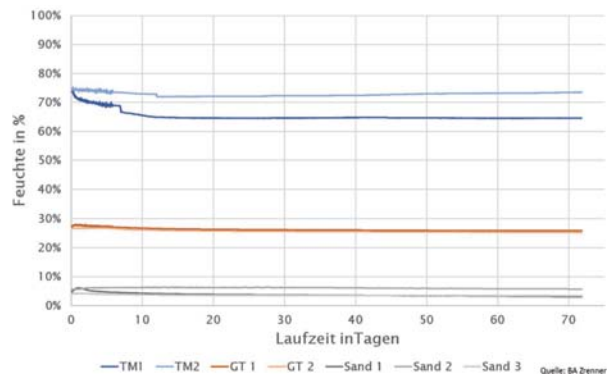


Abb. 5: Verläufe der Feuchtesensoren in allen Versuchsständen

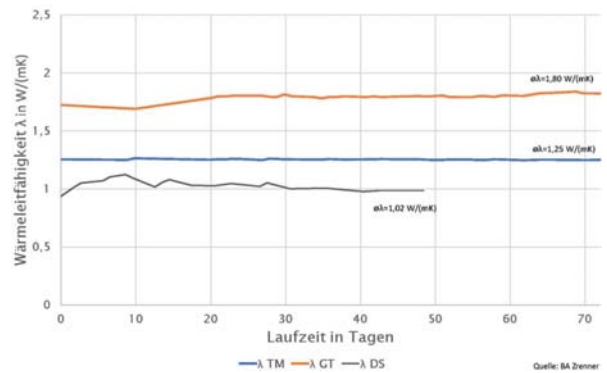


Abb. 6: Verläufe der Messwerte der unteren THB-Sensoren

Kleinstwindenergieanlagen – Untersuchung der elektrischen Komponenten hinsichtlich einer optimalen Zusammenstellung zur Netzeinspeisung

Ein gemeinsames Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl (OTH Regensburg) und Prof. Dr.-Ing. Stefan Beer (OTH Amberg-Weiden)

Die Stromerzeugung aus Windenergie hat sich aus anfänglich kleinen Anlagen hin zu Multimegawattanlagen entwickelt. Nun haben die OTH Regensburg und die OTH Amberg-Weiden im Rahmen dieses Kooperationsprojekts Windenergieanlagen mit Leistungen bis 5 kW erforscht. Die Ziele des Projektes liegen darin, die Komponenten zu untersuchen und deren Konfiguration hinsichtlich Stromertrag und Kosten zu verbessern. Dabei ist die optimale Zusammenstellung der Komponenten in der elektrischen Energiewandlungskette Kernthema der OTH Regensburg und soll die Energie- und Kosteneffizienz der Anlagen steigern.

Für die Bewertung dieser Kombinationen wird ein Ertragsmodell (Abb. 2) erstellt, um die Jahreserträge zu berechnen. Dabei wird die Windverteilung an verschiedenen Standorten und die, je nach Kombination, unterschiedliche Anlagenleistung berücksichtigt. Bei der Berechnung der Anlagenleistung über den Anlagenwirkungsgrad wird der Schwerpunkt auf den elektrischen Wirkungsgrad gelegt und die Komponente des Rotors nur oberflächlich einbezogen. Zur Bestimmung des Anlagenwirkungsgrades werden zwei Ansätze betrachtet: der Ansatz der maximalen Wirkungsgrade und der Ansatz der Wirkungsgradverläufe.

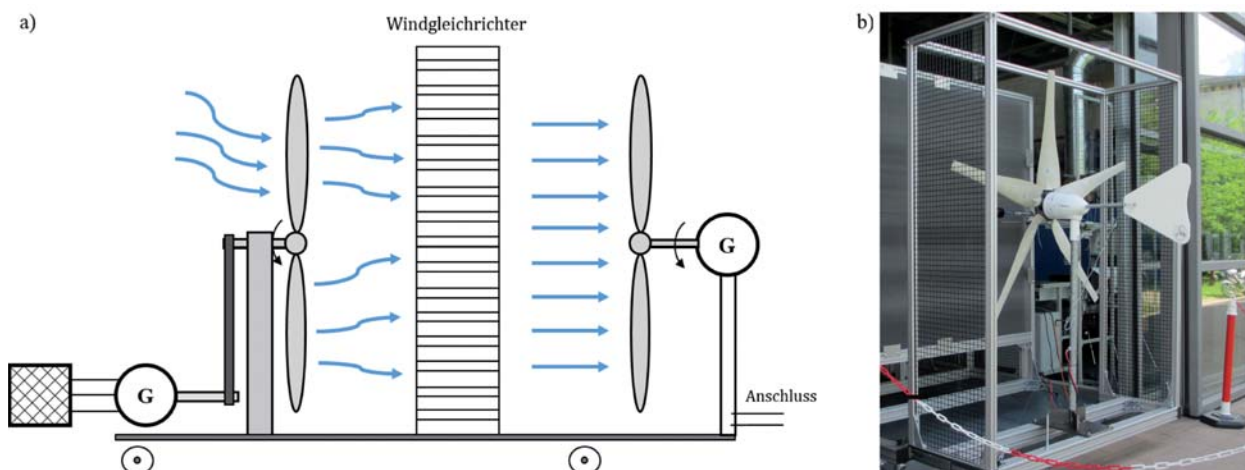


Abb.1: a) Aufbau und Funktion des Prüfstandes, die blauen Linien entsprechen dem erzeugten Windverlauf; b) Foto des Prüfstandes mit einer Kleinstwindenergieanlage

Neben der theoretischen Forschung besteht die Möglichkeit, an der OTH Amberg-Weiden KWEAs unter realen Bedingungen auf einem eigens dafür entwickelten Prüfstand zu testen. Mit Hilfe dieses Prüfstandes (Abb. 1) wurden bereits KWEAs, wie die in Abb. 1 b dargestellte KWEA eines englischen Herstellers, im Rahmen von Abschlussarbeiten erfolgreich vermessen.

An der OTH Regensburg liegt der Fokus auf einer optimalen Konfiguration aus Generator und Stromrichter mit auf dem Markt erhältlichen Komponenten. Die nötigen Daten für Generator, Wechselrichter mit Gleichrichter bzw. Umrichter werden aus den Datenblättern der Herstellerseiten oder auf Anfrage erfasst. Auf Basis dieser Daten und der Aussagen der Hersteller wird eine Übersicht der möglichen Kombinationen aufgezeigt.

Optimierung Netzanbindung Kleinstwindkraftanlagen

Förderzeitraum 2016-10-01 bis 2018-09-30
Bewilligte Summe 39.620 EUR

Ausführende Stelle
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)
Förderprogramm
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

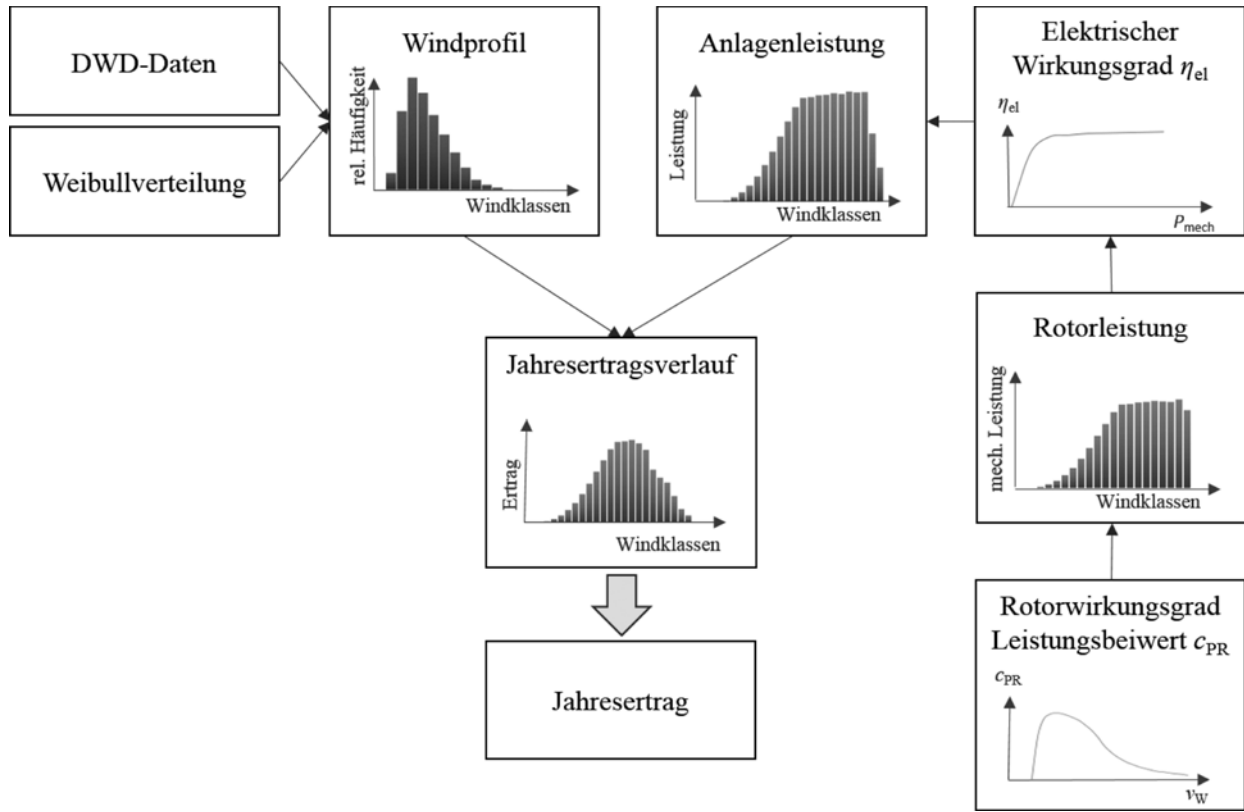


Abb.2: Übersichtsplan für das Ertragsmodell einer Windenergieanlage mit den benötigten Parametern

Durch Vergleich der beiden Ansätze kann festgestellt werden, dass der Ansatz der Wirkungsgradverläufe die Anlagenleistung im Teillastverhalten einer KWEA besser abbildet. Bei der Berechnung der Erträge wird gerade bei niedriger Windgeschwindigkeit eine genauere Abschätzung möglich. Weiter lässt sich festhalten, dass mit steigender Nennleistung einer KWEA der Jahresertrag bezogen auf die Anschaffungskosten steigt und bei Auslegungen des elektrischen Systems einer KWEA in den Größenordnungen von 4 kW bis 5 kW eine bessere Wirtschaftlichkeit erreicht wird.

Das Projekt zeigt eine theoretische Aussage über die Jahreserträge verschiedener elektrischer Komponenten und deren Effizienz auf. An dieser Stelle ist es nötig, das Modell weiter zu optimieren, indem beispielsweise die Wirkungsgrade und Daten der Hersteller durch Versuchsreihen der einzelnen elektrischen Komponenten am Prüfstand in Amberg bestätigt werden. Dadurch ist eine realitätsnähere Abschätzung der Jahreserträge möglich. Die OTH Regensburg und die OTH Amberg-Weiden forschen auch zukünftig weiter an den Problemstellungen im Bereich der Kleinstwindenergieanlagen.



Kosten der Blindleistungsbereitstellung

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Die Spannungshaltung ist eine der wichtigsten Anforderungen an einen stabilen Netzbetrieb. Um dies zu gewährleisten, ist die Blindleistung eine der wichtigsten Maßnahmen, vor allem in den höheren Spannungsebenen. Bislang haben vor allem konventionelle Kraftwerke den größten Teil an Blindleistung geliefert. Ende 2016 veröffentlichte die OTH Regensburg für das Bundeswirtschaftsministerium eine Studie zur künftigen Beschaffung von Blindleistung, um einerseits die Netzsicherheit aufrechtzuerhalten, aber andererseits die Kosten dafür gering zu halten (sog. deutsche Blindleistungsstudie). Seither ist eine lebhaft Diskussion im Gange. Nun hat die OTH Regensburg für die Deutsche Energieagentur (dena) eine sehr umfangreiche Untersuchung der Kostenbestandteile der wichtigsten Optionen zur Blindleistungsbereitstellung durchgeführt und anhand eines realen Mittelspannungsnetzes die Spannungshaltung mittels Blindleistung analysiert. Das Ergebnis hat auch die Netzbetreiber überrascht.

In der Studie für die dena [1] werden die technisch-physikalischen Aspekte aufgezeigt, die bei der Auslegung von Erzeugungsanlagen (EZA) auf eine Blindleistungsbereitstellung zu beachten sind. Für die betroffenen Komponenten werden die damit einhergehenden Kosten quantifiziert. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Bandbreite. Allgemein gilt feststellen, dass die Auslegung zur Blindleistungserbringung auf einen Verschiebungsfaktor von 0,90 grundsätzlich zu höheren spezifischen

Bereitstellungskosten als ein Verschiebungsfaktor von 0,95 führt. Neben EZA wird die Kostenstruktur von konventionellen Kompensationsanlagen beleuchtet. Diese haben in höheren Spannungsebenen, vor allem in der Hochspannungs(HS)- und Höchstspannungs(HöS)-Ebene, niedrigere spezifische Investitionen als in der Mittelspannungs(MS)- und Niederspannungs(NS)-Ebene. Tabelle 1 zeigt die Minder- und Mehrkosten für die Blindleistungsbereitstellung ausgewählter beispielhafter EZA. Die technische und wirtschaftliche Bewertung der Blindleistung erfordert eine Differenzierung hinsichtlich des Anwendungsfalles. In der Studie werden nur einzelne Lösungsbausteine anhand eines ausgewählten MS-Netzes betrachtet. Alleine diese Beispiele verdeutlichen bereits die enorme Kostenbandbreite bei der blindleistungsbedingten Auslegung und Blindleistungsbereitstellung.

Als allgemeine Schlussfolgerung kann gesehen werden, dass die Beurteilung der Blindleistungsbereitstellung inkl. ihrer Notwendigkeit eine komplexe Aufgabenstellung darstellt, weil nicht nur zahlreiche Optionen sowie direkte und indirekte Alternativen existieren, sondern auch die bestehenden Wechselwirkungen und Auswirkungen über die verschiedenen Spannungsebenen hinweg erkannt und bewertet werden müssen.

Literatur

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Entwicklung einer Verfahrensweise zur quantitativen Bewertung ver-

Generatortyp		Minder- bzw. Mehrkosten in EUR/kVAr bei Auslegung auf	
		cosφ = 1,00 statt cosφ = 0,95	cosφ = 0,90 statt cosφ = 0,95
6,15-MW-Windpark mit kurzer Anschlussleitung	als Vollumrichter	9	20
	als DFIG	26	43
10-MW-Windpark mit 8-km-Anschlussleitung	Als Vollumrichter	11	27
	Als DFIG	30	50
7-kW-PV-Dachanlage		19	43
2,85-MW-PV-Freiflächenanlage mit 2-km-Anschlussleitung		15	35
6,15-MW-Freiflächenanlage mit 2-km-Anschlussleitung		16	36
1.000-MW-Steinkohlekraftwerk*)		< 5	< 10

*) wurde früher typischerweise auf ungefähr $\cos\phi = 0,8$ ausgelegt. Dabei würden heute Kosten von ca. 20 bis 30 EUR/kVAr resultieren.

Tabelle 1: Berechnungsbeispiele zum Mehraufwand für die Blindleistungsbereitstellung aus EZA



schiedener Blindleistungsbereitstellungsoptionen. Dezember 2017. Internet: https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9235_Entwicklung_einer_Verfahrensweise_zur_quantitativen_Bewertung_verschiedener.pdf

Kontakt

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl
Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES), oliver.brueckl@oth-regensburg.de
Homepage: www.fenes.de

Bewertung von Optionen der Blindleistungsbereitstellung (dena Q-Studie)

Projektzeitraum 2017-03-01 bis 2017-12-31

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Auftraggeber

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

RONT und die Spannungsstabilität des Stromnetzes

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Die Energiewende fordert eine stete Untersuchung und Neubewertung der Stabilität des Stromnetzes. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Spannungsstabilität im europäischen Verbundsystem. Bei hochbelasteten Übertragungsleitungen könnte es im Fehlerfall zu einem unkontrollierten Einsinken der Spannung kommen. Einem Spannungskollaps kann inhärent und in gewissem Maße ein Selbststabilisierungseffekt entgegenwirken, weil der Leistungsbedarf der Verbraucher mit niedrigerer Spannung ebenfalls sinkt. Deshalb werden Regeltransformatoren bei drohendem Spannungskollaps in ihrer Spannungsregelung blockiert, damit das Absinken der Spannung auch im Verteilungsnetz nicht ausgeregelt wird und die Verbraucher so eine geringere Leistung dem Netz entnehmen.

Regelbare Ortsnetztransformatoren (RONT), die an sich eine der günstigsten Maßnahmen darstellen, sowohl

Erneuerbare Energien als auch die Elektromobilität in das Netz zu integrieren, weichen diesen Selbststabilisierungseffekt auf, wenn sie nicht ins Leitsystem angebunden sind und in solchen Situationen blockiert werden.

Dieser destabilisierende Effekt konnte in der Stabilitätsstudie der OTH Regensburg auch nachgewiesen werden. Gleichzeitig wurde aber aufgezeigt, dass der Effekt relativ gering ist, da nur ein geringer Anteil der Last betroffen ist. Relevanter zeigt sich der Selbstregeleffekt selbst, da dieser durch den Wandel der Verbraucherstruktur, aufgrund des zunehmenden Einsatzes von Leistungselektronik, zurückgehen dürfte.

Außerdem wurde wider Erwarten festgestellt, dass die heutige Praxis der Spannungshaltung im Verteilungsnetz durch wirkleistungsabhängige Blindleistungsregelung (sog. $\cos\varphi$ (P)-Steuerung) eine deutlich größere destabilisierende Wirkung verursacht.

Wechselwirkungen zwischen Regelleistungserbringung und Netzengpässen im Verteilnetz

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Eine Studie im Auftrag der Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin. Das wissenschaftliche Gutachten wurde von der OTH Regensburg erstellt.

Es wurde eine Konfliktanalyse durchgeführt, die Konfliktsituationen in ihrer Entstehung und Beherrschung beschreibt. Darauf aufbauend wurden Aspekte zur Relevanz bewertet, d. h. wie relevant bzw. wahrscheinlich bestimmte Konfliktsituationen sind.

Literatur

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Wechselwirkungen zwischen Regelleistungserbringung und Netzengpässen im Verteilnetz. November 2017. Internet: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9226_dena-Studie_Wechselwirkungen_zwischen_Regelleistungserbringung_und_Netzengpaessen_im_Verteilnetz.pdf



Blindleistungsstudie II des BMWi – erneute Mitarbeit der OTH Regensburg

Analyse des deutschlandweiten Blindleistungsbedarfes
mit netzknoten- und leitungsscharfem spannungsebenen-
übergreifendem Netzmodell der OTH Regensburg

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl



Stromnetz mit Umspannwerk

Die OTH Regensburg und das Institut für Netz- und Anwendungstechnik GmbH (INA) haben im Auftrag des BMWi die Studie „Zukünftige Bereitstellung von Blindleistung und anderen Maßnahmen für die Netzsicherheit“ erstellt. Diese ist seit 2016 unter [1] veröffentlicht. Der Zweck der Studie bestand darin, die neuen Herausforderungen für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch den Ausbau der erneuerbaren Energien aufzuzeigen und Lösungen vorzuschlagen, um das Netz weiterhin sicher und effizient zu betreiben. Gegenstand der Untersuchungen waren Blindleistung, Kurzschlussleistung, Momentanreserve und Netzwiederaufbau. Mit dem Beschluss zum Kohleausstieg, der Höherauslastung der Stromnetze durch Bestandnetzoptimierung und innovativen Technologien sowie weiteren veränderten Randbedingungen auf europäischer und nationaler Ebene haben sich wesentliche Einflussfaktoren verändert. Das BMWi hat deshalb die Studie „Zukünftige Bereitstellung von Blindleistung II“ im Sommer 2019 ausgeschrieben und erneut die OTH Regensburg und das Institut für Netz- und Anwendungstechnik GmbH (INA) mit der Erstellung beauftragt. Aufgabe der OTH Regensburg ist es, im ersten Schritt den Bedarf an Blindleistung im gesamten deutschen Stromnetz zu bestimmen. Das Übertragungsnetz sowie das Hochspannungsnetz werden hierzu netzknoten- und leitungsscharf, die Mittel- und Niederspannungsnetze regionalisiert aufgelöst simuliert. In einem zweiten Schritt soll herausgearbeitet werden, welche Defizite in der Blindleistungsbereit-

stellung im Übertragungsnetz existieren und wie und in welchem Umfang diese durch Blindleistungsquellen bzw. -potenziale im Verteilungsnetz gedeckt werden können. Hierzu wird ein im Rahmen des ehemaligen Forschungsprojekts SyNErgie entwickelter Optimal-Power-Flow-Algorithmus angewendet, der den optimalen Einsatz der Blindleistungsquellen im Verteilungsnetz unter Einhaltung von Strom- und Spannungsgrenzen berechnet. Mit dem Ergebnis kann abgeleitet werden, wie viele Kompensationsanlagen tatsächlich im Übertragungsnetz benötigt werden. Die deutschen Übertragungsnetzbetreiber gehen im Rahmen ihrer Berechnungen im Netzentwicklungsplan 2030 von bis zu 248 neu zu errichtenden Anlagen aus.

[1] https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/zukuenftige-bereitstellung-von-blindleistung-und-anderen-massnahmen-fuer-die-netzsicherheit.pdf?__blob=publicationFile&v=14

Zukünftige Beschaffung von Blindleistung (Q-Studie II)

Projektzeitraum 2019-09-01 bis 2021-02-28

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Auftraggeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)



Speicher und Batteriemangement

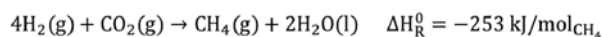
Optimierung der biologischen CO₂-Methanisierung im Rieselbett-Reaktor: das ORBIT-Projekt

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner et al.

Einleitung

Power-to-Gas ist eine der wenigen Langzeitspeicheroptionen in zunehmend verschränkten Energiesektoren [1]. Abhängig vom Anwendungsfall, zum Beispiel bei großen Erdgasvolumenströmen am Einspeisepunkt ins Gasnetz, kann dabei reiner Wasserstoff direkt verwendet werden.

Ist dies nicht der Fall, kann mittels CO₂-Methanisierung auf biologischem oder chemischem Reaktionspfad regeneratives Erdgassubstitut hergestellt werden [2, 3].



Bei der biologischen CO₂-Methanisierung verstoffwechseln hydrogenotrophe methanogene Mikroorganismen, Archaeen, in einer exothermen Reaktion Wasserstoff (H₂) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) zu Methan (CH₄). Wasser fällt als Nebenprodukt an.

Problem und Fragestellung

Die biologische CO₂-Methanisierung ist, anders als der chemisch-katalytische Weg über den Sabatier-Prozess, robust gegenüber Verunreinigungen im Eduktgas und kann bei milden Prozessbedingungen gefahren werden. Sie wird heute meist in Rührkesselfermentern (Abb. 1)

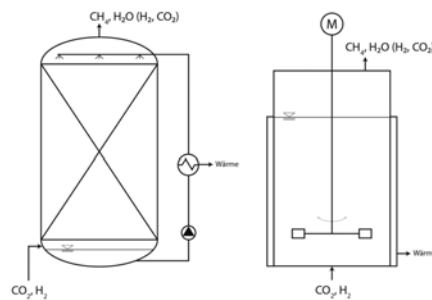


Abb. 1: Rieselbett- (links) und Rührkesselreaktor (rechts) zur biologischen CO₂-Methanisierung

ORBIT – Optimierung eines Rieselbett-Bioreaktors für die dynamische mikrobielle Biosynthese von Methan mit Archaeen in Power-to-Gas-Anlagen

Förderzeitraum 2017-07-01 bis 2020-12-31

Bewilligte Summe 291.150 EUR

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Förderprogramm

6. Energieforschungsprogramm

Verbundvorhaben

8 Projektpartner aus Forschung, Industrie und Normungsgremien

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Optimierung eines Rieselbett-Bioreaktors für die dynamische mikrobielle Biosynthese von Methan mit Archaeen in Power-to-Gas-Anlagen (ORBIT)

Förderzeitraum 2016-02-01 bis 2017-04-30

Bewilligte Summe 25.550 EUR

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber

Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

Förderprogramm

Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst





Abb. 2: Im ORBIT-Projekt adressierte Forschungsbereiche

angewendet. Dort stellen u. a. die schlechte Gaslöslichkeit von Wasserstoff und die Auswahl geeigneter Mikroorganismen die Hauptprobleme dar. Zudem gibt es im Bereich der Methanisierung für Power-to-Gas-Anwendungen Standardisierungsbedarf.

Hypothese

Rührkesselreaktoren sind für Dreiphasensysteme wie die biologische CO₂-Methanisierung nicht zwangsläufig die optimale Wahl. Bessere Ergebnisse werden für Rieseltankreaktor-konzepte erwartet. Ein solches wird im Forschungsvorhaben „ORBIT“ entwickelt, aufgebaut, getestet und angewendet.

Projektziele

- Optimierung von Prozess- und Reaktordesign für einen biologischen Methanisierungsprozess,
- Bestimmung pareto-optimaler Kombinationen aus Mikroorganismen (Archaeen) und Aufwuchsmaterialien,
- Standardisierung der CO₂-Methanisierung
- Prozess- und Reaktorsimulation, Kinetik,
- Tests zum dynamischen Verhalten des Systems im Labor/Technikum sowie
- Feldversuch und scale up Vorbereitung.

Forschung

Biologie: Auswahl und Bestimmung geeigneter Mikroorganismenkombinationen aus einer Stammsammlung, Toxizitäts- und Gasbildungstests, Stammranking, Verhalten im Betrieb.

Engineering: Entwicklung Prozess- und Reaktordesign, Automatisierung, Fluidmechanische Tests zum Verhalten verschiedener Packungen, Ranking Aufwuchsmaterial, Prozess- und Reaktorsimulation.

Standardisierung: Initiierung und erste Schritte zur neuen Norm „VDI 4635-1: CO₂-Methanisierung“.

Anwendung: Technikumsversuche zum dynamischen Verhalten des Systems und Feldtest an Gasinfrastruktur in Nordrhein-Westfalen.

Bruttovolumen Reaktor	46 Liter
Packungsvolumen	3 x 10,4 Liter
Prozessdruck	14-16 bar(a)
Prozesstemperatur	ca. 65 °C
Produktgas (CH ₄)	0,062-0,104 m ³ h ⁻¹
Methangehalt Produktgas	>95 %
Flüssigkeitsrezirkulation	1-10 L h ⁻¹

Tabelle 1: Kenndaten des ORBIT-Prozesses

Ergebnisse

- Prozess und Anlage sind entwickelt, aufgebaut und bereit für Versuchsbeginn.
- Fünf Archaeenstämme für Versuche an der Anlage wurden identifiziert.
- Vier Packungsmaterialien sind bestimmt.
- Ein Normungsgremium zur VDI 4635 wurde im Oktober 2018 gegründet. Erste Inhalte sind erarbeitet.

Quellen

[1] J. Hüttenrauch et al. Integration fluktuierender erneuerbarer Energien durch konvergente Nutzung von Strom- und Gasnetzen, Abschlussbericht. Freiberg (2017).
 [2] M. Götz et al. Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review, in: Renewable Energy, 1-20, (2015).
 [3] M. Sterner und I. Stadler (Hg.) Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration. Springer, Berlin-Heidelberg, (2017).



SPIKE – Systemanalyse und -integration Power-to-X im Kontext von erneuerbarer Elektrizität als Primärenergie

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner et al.

Im Rahmen der Kopernikus Forschungsinitiative P2X wurden im Projekt „SPIKE“ Power-to-X-Technologiepfade im Gesamtkontext der Energiewende untersucht. Da der zukünftige Einsatz von PtX in hohem Maße abhängig von der Entwicklung des deutschen Energiesystems ist, wurde ein Energiesystemmodell erstellt, mit dem es möglich ist, die PtX-Technologien in Abhängigkeit des Anwendungsfalles zu bewerten und untereinander sowie mit den fossilen Referenzen zu vergleichen.

weise Power-to-Gas, Power-to-Liquid oder Power-to-Chemicals. Zudem erfolgt die Modellierung unter den Gesichtspunkten des Pariser Klimaschutzabkommens. Hierfür wurde unter anderem ein Treibhausgasbudget vorgegeben, mit dem die mittlere Globaltemperatur mit einer Wahrscheinlichkeit von über 66% nicht über 1,5°C gegenüber dem Wert vor der Industrialisierung ansteigt. Darüber hinaus wurde im Jahr 2050 eine Treibhausgasreduktion von 95% gegenüber 1990 festgelegt.

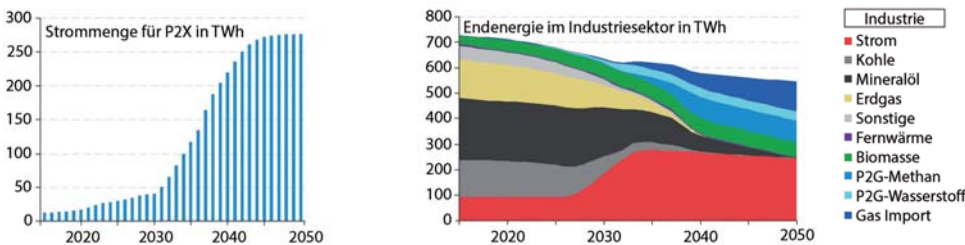


Abb. 1: Ausgewählte Ergebnisse der Energiesystemmodellierung.

Das Energiesystemmodell beruht auf drei miteinander in Wechselwirkung stehenden Teilmodellen: Im Grobmodell erfolgt eine lineare Optimierung mit einer Auflösung von einem Jahr sowie den volkswirtschaftlichen Kosten als Zielfunktion. Hier werden mehr als 300 Technologiepfade berücksichtigt. Im Feinmodell wird die Energienachfrage und -erzeugung hingegen stundenscharf anhand eines Merit-Order-Modells abgebildet. Über das letzte Teilmodell werden Energiespeicher integriert. Die Optimierung erfolgt auf einem nationalen Level, beginnend mit dem Jahr 2015 bis zum Jahr 2050. Im Modell werden neben allen in Deutschland relevanten Erzeugungs- und Verbrauchstechnologien verschiedenste PtX-Pfade abgebildet. Dies sind beispiels-

weise der Güter-, Flug- oder Schiffsverkehr sowie bestimmte Prozesse in der energieintensiven Industrie (v. a. Stahlerzeugung, Herstellung von Ammoniak, Methanol und höherwertigen Chemikalien). In diesen Anwendungsbereichen ist die PtX-Technologie meist systemrelevant und daher zwingend erforderlich. Insgesamt zeigt sich, dass sich die ambitionierten Klimaschutzziele positiv auf den Einsatz von Power-to-X-Verfahren auswirken.

SPIKE – Systemanalyse und -integration Power-to-X im Kontext von erneuerbarer Elektrizität als Primärenergie

Förderzeitraum 2017-02-15 bis 2019-08-31
Bewilligte Summe 494.630 EUR

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderprogramm Kopernikusprojekte für die Energiewende
Verbundvorhaben 47 Projektpartner aus Forschung u. Industrie



Potenzialanalyse von Power-to-Chemicals in der Industrie

Förderzeitraum 2016-05-01 bis 2017-02-15
Bewilligte Summe 33.000 EUR

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber

Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)
Förderprogramm Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“





QUARREE100 – Entwicklung eines Eisen-Redox-Speichers

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner, Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud und Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl et al.

Die Energiewende braucht zu ihrem Gelingen neue Impulse und Lösungen. Die OTH Regensburg entwickelt ein System, das fluktuierende erneuerbare Energien in Form von Wasserstoff zwischenspeichern kann. Ein Elektrolyseur verwendet hierbei den Strom, um Wasser zu Sauerstoff und Wasserstoff zu spalten. Der Wasserstoff wird in einem neuartigen Energiespeicher, basierend auf Eisenoxid-Pellets, bei hohen Temperaturen zwischengespeichert. Für die Rückverstromung wird der Wasserstoff in einen angepassten Verbrennungsmotor geführt. Das System wird zunächst für den Einsatz im Bestandsquartier ausgelegt.

Die OTH Regensburg arbeitet unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud, Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner und Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl fakultätsübergreifend mit drei Laboren an dem Eisen-Redox-System. Mitarbeiter des Labors für Sorptionsprozesse, der Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher und des Labors für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung sind an der Simulation, der Weiterentwicklung und dem Aufbau dieses Systems beteiligt. Das dem Speicher zugrundeliegende Prinzip der thermochemischen Eisenoxid-Reduktion mit Wasserstoff ist bereits seit mehreren Jahrzehnten in der Industrie bekannt.

Ziel der Forschungsarbeit ist die Entwicklung eines Systems zur Zwischenspeicherung von Strom aus erneuerbaren Energien mit hoher Energiedichte. Das heißt, das System kann auf ein geringes Gewicht oder ein geringes Volumen große Mengen an Energie speichern.

Der regenerativ erzeugte Strom wird zunächst zur Spaltung von Wasser H_2O zu Wasserstoff H_2 und Sauerstoff O_2 mittels Elektrolyse verwendet. Wasserstoff ist zwar ein stark flüchtiges Gas, hat aber eine hohe massenspezifische Energiedichte und viele Einsatzmöglichkeiten. So kann Wasserstoff neben der energetischen Verwertung auch in der Mobilität verwendet werden und bildet einen wichtigen Grundbaustein in der Industrie. In der Wissenschaft liegt der Fokus bei der Wasserstoffspeicherung bisher auf kryogenen Systemen (Speicherung bei extrem niedrigen Temperaturen) und Druckspeichern.

Alle der drei heute verfügbaren Elektrolisetchnologien (Alkalisch, Sauer bzw. PEM und Hochtemperatur) haben die Herstellung von Wasserstoff und Sauerstoff gemein und können potentiell in das Eisen-Redox-System integriert werden. Eine Sonderstellung hat hierbei die Hochtemperaturelektrolyse, da diese aufgrund der benötigten

QUARREE100 – Resiliente, integrierte und systemdienliche Energieversorgungssysteme im städtischen Bestandsquartier unter vollständiger Integration erneuerbarer Energien

Förderzeitraum 2017-11-01 bis 2022-10-31
Bewilligte Summe 1.438.111 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES), Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung (CEEC), Labor für Sorptionsprozesse

Zuwendungsgeber
 Bundesministerium für Bildung und Forschung
 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Förderprogramm
 Grundlagenforschung Energie
Verbundvorhaben
 21 Projektpartner aus Forschung und Industrie

GEFÖRDERT DURCH



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

AUFGRUND EINES BESCHLUSSES DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES

Experimentelle und virtuelle Analyse verschiedener Redox-Materialien | Experimentelle Untersuchung der Metalloxid-Werkstoffe mittels eines Wasserdampföfen

Förderzeitraum 2018-10-01 bis 2022-06-30
Bewilligte Summe 52.398 EUR

Ausführende Stelle
 OTH Regensburg, Labor für Sorptionsprozesse

Zuwendungsgeber
 Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)
Förderprogramm
 Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



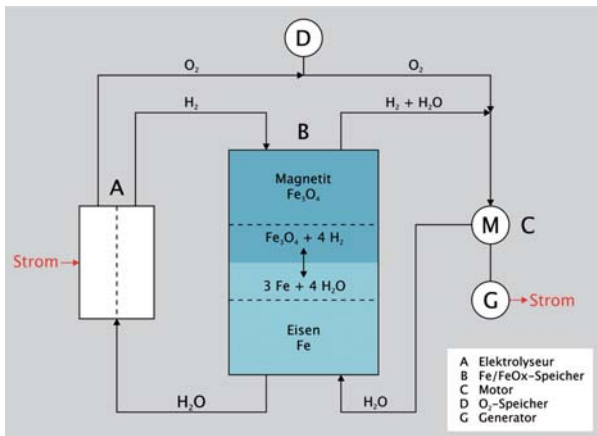


Abb. 1: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips des Eisen-Redox-Speichers

hohen Temperaturen zwar große Synergien mit dem Reaktor aufweist, aber aktuell noch am wenigsten erforscht ist. Der hergestellte Sauerstoff wird für die spätere Verwendung im Verbrennungsmotor zwischengespeichert.

Um Energie speichern zu können, wird der Wasserstoff dem Eisen-Redox-Reaktor und damit dem Kern des Systems zugeführt. Dieser Reaktor ist mit Eisen- bzw. Eisenoxid-Pellets gefüllt und bildet den thermochemischen Energiespeicher im System. Beim Einspeichern reagiert der Wasserstoff bei Temperaturen von über 700 °C mit dem Eisenoxid Fe_3O_4 und reduziert dieses zu reinem Eisen Fe . Dabei wird Wasserdampf frei, welcher dem Elektrolyseur zugeführt werden kann. Zum Ausspeichern wird dem reversiblen Speicherprozess überhitzter Wasserdampf zur Oxidation der Eisen-Pellets zugeführt. Dadurch reagieren die Pellets, unter Freisetzung von Wasserstoff, wieder zu dem anfänglichen Eisenoxid zurück.

Das so entstehende Gemisch aus Wasserdampf und Wasserstoff wird dem Verbrennungsmotor zugeführt und dort unter Zugabe des vorher gespeicherten Sauerstoffes verbrannt. Hierfür wird ein herkömmlicher Verbrennungsmotor speziell auf den Betrieb mit Wasserstoff/Sauerstoff/Wasserdampf-Gemischen angepasst. Der Motor treibt wiederum einen Generator an, der letztendlich wieder Strom erzeugt. Das Gesamtsystem ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

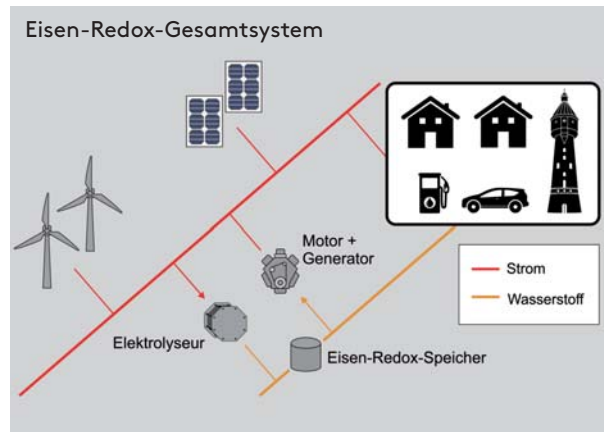


Abb. 2: Schematische Darstellung der Einbindung des Speichersystems in ein bestehendes Strom- und Gasnetz

Das System wird zunächst als stationärer Speicher für den Einsatz in einem Bestandsquartier ausgelegt. Überschüssiger, regenerativer Strom soll über einen Elektrolyseur zu Wasserstoff gewandelt und im Reaktor zwischengespeichert werden. Herrscht im Quartier ein Mangel an erneuerbarem Strom, kann der Wasserstoff aus dem Reaktor über den angepassten Motor wieder zu Strom gewandelt werden. Wird im Quartier direkt Wasserstoff z. B. für eine potentielle Tankstelle benötigt, kann dieser ebenfalls aus dem Speicher kommen. Die Einbindung des Systems in ein Quartier sowie Strom- und Gasnetz ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Anfallende Abwärme, die nicht intern im System verwendet werden kann, kann potentiell in verschiedene Industrieprozesse integriert werden.

Die Arbeiten zum Eisen-Redox-Speicher finden im Rahmen des Forschungsprojektes „Resiliente, integrierte und systemdienliche Energieversorgungssysteme im städtischen Bestandsquartier unter vollständiger Integration erneuerbarer Energien (QUARREE100) – Reallabor Rüdorfer Kamp“ statt. An dem Projekt arbeiten neben der OTH Regensburg 20 weitere Partner aus Industrie und Forschung an aktuellen Fragen zur Energiewende wie zum Beispiel der Integration erneuerbarer Energien in Bestandsquartiere. Bei passenden Ergebnissen soll ein Demonstrator des Systems bis spätestens 2022 im Rahmen dieses vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi geförderten Leuchtturmprojektes im Reallabor in Heide aufgestellt, in die dortige Infrastruktur eingebunden und erprobt werden.



Informations- und Managementsysteme

Ostbayerische Ressourcenversorgung und Kritische Infrastrukturen (ORKI)

Ein Projekt von Prof. Dr. Markus Bresinsky

Das Projekt Ostbayerische Ressourcenversorgung und Kritische Infrastrukturen behandelt die Verwundbarkeit Kritischer Infrastrukturen (KRITIS) in der Region Ostbayern und dem tschechischen Grenzgebiet.



Anspruchsgruppen

Dabei werden nach dem System-of-Systems Ansatz nicht nur Betreiber Kritischer Infrastrukturen betrachtet, sondern die Abhängigkeiten von diesen Betreibern zu anderen Anspruchsgruppen in der Grenzregion wie betroffenen Unternehmen, Stadt- und Kommunalverwaltungen, Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben wie Polizei oder Feuerwehr. Auch nachgelagerte Abhängigkeiten, die nicht direkt von einem Ausfall betroffen sind, werden in Betracht gezogen, z. B. Abwasserentsorgung oder Lebensmittelversorgung.

Ziel ist es, dass die einzelnen Anspruchsgruppen ein Problem- und Lageverständnis für solche Abhängigkeiten entwickeln, um diese in ihren Risiko- und Gefahrenanalysen und Maßnahmen zu berücksichtigen. Ein Aspekt, der dabei außerdem bedacht wird, ist die Cyber-

sicherheit, die durch die ansteigende Digitalisierung und damit einhergehende Vernetzung beim Schutz Kritischer Infrastrukturen zunehmend wichtiger wird. Um dies zu erreichen, wird im Rahmen des Projekts ein Vorgehen entwickelt, mit dem diese Abhängigkeiten modellhaft, beispielsweise als System-Dynamics Modell, dargestellt werden. Anschließend werden die Erkenntnisse in eine skript-basierte Simulationsübung übertragen. Ein Szenario dieser Übung kann beispielsweise ein Blackout in einer Kommune sein. Die Anspruchsgruppen durchlaufen diese Übung unter Anleitung und Moderation des Projektteams und müssen dabei die Situation bewerten, Risiken einschätzen und Entscheidungen für ihr weiteres Vorgehen treffen. Die Ergebnisse werden festgehalten und den beteiligten Anspruchsgruppen zur Verfügung gestellt. Das Projektteam unterstützt zudem die Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen der einzelnen Anspruchsgruppen. Auf diese Art und Weise wird ein gemeinsames Problem- und Lageverständnis bezüglich der Fern- und Nebenwirkungen der nachgelagerten Abhängigkeiten geschaffen, wodurch die Resilienz der Betreiber von Kritischen Infrastrukturen gestärkt wird.

Ostbayerische Ressourcenversorgung und Kritische Infrastrukturen (ORKI)

Förderzeitraum 2018-10-01 bis 2019-12-31
Bewilligte Summe 35.380 EUR

Ausführende Stelle
OTH Regensburg, Labor für Führungs- und Managementanalyse

Zuwendungsgeber
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)
Förderprogramm
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“



Analyse und Design eines Energiemanagementsystems zur Erhöhung der betrieblichen Energieeffizienz am Beispiel der FKT GmbH

Ein Projekt von Prof. Dr. Klaus Volbert und Prof. Dr. Thomas Waas

Die FKT GmbH ist ein zertifizierter Entwicklungs- und Systemlieferant im Premiumsektor der Automobilindustrie. Der Tätigkeitsschwerpunkt liegt in den Bereichen Beschattung, Cargo Management-Systeme, Windschotts für Cabrio-Fahrzeuge, Taschensysteme für Zubehör und Spritzgusstechnik. Dabei wird besonderer Wert auf die Nachhaltigkeit des Unternehmens gesetzt. Dazu befinden sich u. a. zwei Blockheizkraftwerke (BHKW) zur Strom- und Wärmegewinnung, eine Photovoltaikanlage und eine Hackschnitzelheizung, welche regional verfügbare Holzreste verbrennt, auf dem Firmengelände. Beispielsweise wird die Trocknung des Kunststoffgranulats für die Spritzgussmaschinen mit selbst gewonnener Wärme durchgeführt und die Kühlung erfolgt durch einen eigenen Grundwasserbrunnen mit geschlossenem Wasserkreislauf, womit auch die Büroräume gekühlt werden. Überschüssige Wärme wird in das Fernwärmenetz und nicht selbst verbrauchter Strom in das öffentliche Netz eingespeist.

In einem solch komplexen System aus Energieerzeugern und Verbrauchern ist es von großem Interesse, die Ener-

gieflüsse transparent zu machen, beispielsweise um Verbräuche zu optimieren oder besonders energieintensive Prozesse ausfindig zu machen. Zu diesem Zweck des „Energiemonitorings“ wurde eine Kooperation zwischen der FKT GmbH und der Fakultät IM der OTH Regensburg begonnen, bei der gemeinsam ein „Energiemanagementsystem“ (EMS) entwickelt werden soll und durch die darauffolgende Analyse der Daten Einspar- und Optimierungspotentiale erarbeitet werden sollen.

Begonnen wurde die Zusammenarbeit, welche von Prof. Dr. Klaus Volbert und Prof. Dr. Thomas Waas, OTH Regensburg, und von Matthias Ecker, FKT, betreut wird, im Oktober 2018 mit einer Abschlussarbeit von Christian Hiller. Seit Mai 2019 wird diese von Maximilian Beierl im Rahmen eines Forschungsprojekts an der Fakultät IM fortgeführt.

Im ersten Schritt wurde die Architektur des Energiesystems der FKT GmbH analysiert und ein Plan für die Ausstattung mit Messgeräten erstellt. Weiter wurden verschiedene – teils proprietäre, teils offene – Softwarelösungen verglichen und die ausgewählte Variante wird bei der FKT umgesetzt. Auch werden die Möglichkeiten, die Energiedaten mit weiteren Metadaten, wie z. B. Wetterdaten, in ein Verhältnis zu setzen und somit die Analyse zu verbessern, untersucht. Sobald ein hinreichend großer Datensatz verfügbar ist, können auch Konzepte entwickelt werden, mit denen sich Anomalien im Verbrauch feststellen lassen oder der Verbrauch durch eine optimierte Prozessplanung gesenkt werden kann.

Energiemonitoring

Projektzeitraum 2018-10-01 bis 2020-03-15

Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Labor für Intelligente und vernetzte Systeme



Abb. 1: Energiemanagement Board für das Monitoring (Software: Grafana Enterprise)

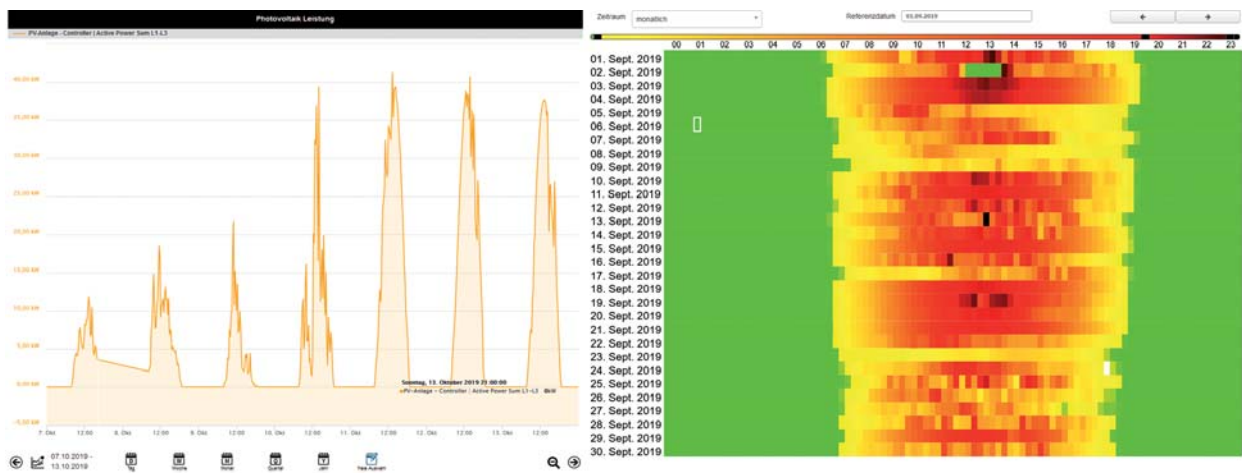


Abb. 2: Visualisierung Photovoltaik-Leistung für das Energiemanagement Monitoring (Software GridVis®)





Weiterentwicklung: Drittmittelprojekte










Weitere Drittmittelprojekte im Bereich der Energieforschung konnten bereits eingeworben werden. Für neue Projektideen wurden bereits Projektanträge eingereicht. Zusätzlich sind weitere Forschungsvorhaben im Entstehen.

Projektübersicht „Energieforschung“

Stand 10/2019

Projektstart 2018/2019

Bereich	Projekt	Zuwendungsgeber	Förderzeitraum	bewilligte Summe
	Living H2: Technologische, ökonomische, ökologische und soziale Evaluation	Bundesministerium für Bildung und Forschung	2019-10-01 bis 2022-09-30	233.509 EUR
	SPIKE II – Verbundvorhaben P2X-2: Erforschung, Validierung und Implementierung von Power-to-X Konzepten	Bundesministerium für Bildung und Forschung	2019-09-01 bis 2022-08-31	308.737 EUR
	ES3M – Etablierung eines Safe and Secure Modul für sichere Kommunikation bei der Energieübertragung zwischen Infrastruktur und Leitstelle gemäß IEC 62351 mit Features der Krypto-Wartung	Bundesministerium für Bildung und Forschung	2018-10-01 bis 2021-09-30	918.578 EUR

Bereich	Projekt	Zuwendungsgeber	geplanter Zeitraum	geplante Fördersumme	Status
	ELEMENT EINS als eine infrastrukturelle Sektorkopplung zwischen Strom und Gas (Reallabor)	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	4 Jahre	441 TEUR	Skizze 2019
	INZELL Netzstützung und Systemdienstleistungserbringung durch eine Industriezelle mit Inselnetzfähigkeit und Erneuerbaren Energien	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	3 Jahre	616 TEUR	Antrag 2019
  	OpenEMS KI Implementierung künstlicher Intelligenz auf einem Open Source Energiemanagementsystem für dezentrale Energieversorgungskonzepte	Bundesministerium für Bildung und Forschung	2 Jahre	607 TEUR	Skizze 2019
	MECO MULTI-ENERGY CARRIER OPTIMIZATION	H2020 EU Projekt	3 Jahre	400 TEUR	Antrag 2019
	Forschungsverbund „Energie – Sektorkopplung und Micro-Grids“	Bayerische Forschungstiftung	3 Jahre	222 TEUR	Skizze 2019
	NiEMob Netzdienliches integrales Elektromobilitäts-Energiemanagementsystem	ZIM, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	3 Jahre	190 TEUR	Antrag 2019
 	ECO ₂ -Glas Energieeffiziente und CO ₂ -Emissionsarme Glasherstellung	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	3 Jahre	tbd	Skizze 2019
 	KIMA Künstliche Intelligenz für die MultigasAnalyse	KMU innovativ	3 Jahre	335 TEUR	Skizze 2019
	EmDeNetz Energiemanagementsystem zur Regelung Dezentraler Energienetze	ZIM, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	3 Jahre	190 TEUR	Skizze 2019

