

Ausgabe 01/21

► EUM/EnWi-JOURNAL

Zusammenstellung ausgewählter Abschlussarbeiten von Studierenden der Studiengänge Energiewissenschaften und Energie- und Umweltmanagement der Hochschule und der Europa-Universität Flensburg

Förderverein der Energiewissenschaften EUM/EnWi e.V. (Hrsg.)
Flensburg, April 2021

Vorwort

Als Förderverein der Energiewissenschaften EUM/EnWi – so lautet seit Januar diesen Jahres unser neuer Name – haben wir es uns zur Aufgabe gemacht, die Studiengänge Energiewissenschaften an der Hochschule Flensburg sowie Energie- und Umweltmanagement an der Hochschule Flensburg und Universität Flensburg zu unterstützen und den Austausch in den Bereichen Energie und Umwelt sowie ein lebendiges Netzwerk zwischen Studierenden und Alumni zu fördern.

Dazu soll auch dieses Journal dienen, das hiermit in seiner 8. Ausgabe vorliegt. Es stellt traditionell eine Zusammenstellung interessanter Abschlussarbeiten aus den genannten Studiengängen dar und bietet einen Einblick in das vielfältige und spannende Spektrum, das die Studierenden abdecken. Außerdem bietet das Journal die Möglichkeit der Verbindung von Studierenden und Absolvent*innen, sodass der thematische und persönliche Austausch unterstützt wird.

Für jede Ausgabe bitten wir die jeweils letzten Abschlussjahrgänge des Bachelor- und Masterstudiengangs, die Kurzfassungen ihrer Abschlussarbeiten einzureichen. Falls Sperrvermerke vorhanden sind, können der Titel und die Kontaktdaten einer Abschlussarbeit beigetragen werden, da diese Informationen für unsere Leser*innen dennoch interessant sein könnten. Wie in den letzten Ausgaben sind außerdem auch in dieser Ausgabe Doktorarbeiten beigetragen worden.

Wir freuen uns sehr, dass wir auf diese Weise insgesamt 10 Arbeiten zusammentragen konnten! Großer Dank gilt an dieser Stelle den Autor*innen!

Wir hoffen, durch dieses Journal zur Vernetzung der aktuellen und ehemaligen Studierenden bei zutragen. Bei besonderem Interesse an speziellen Arbeiten, meldet euch also gern bei den Autor*innen. Außerdem rufen wir an dieser Stelle dazu auf, uns Kurzfassungen von Abschlussarbeiten auch gern unaufgefordert zuzusenden. Diese werden wir dann in der nächsten Ausgabe veröffentlichen.

Wir freuen uns über jede Rückmeldung!

Herzliche Grüße,
der Vorstand des Fördervereins der Energiewissenschaften EUM/EnWi e.V.
Thomas Breitenstein
Lisanne Reese
Katharina Esterl
Tim Weishaupt
Martin Jahn

Fördervereins der Energiewissenschaften EUM/EnWi e.V.
c/o Europa-Universität Flensburg
VIL/Postfach 10
Auf dem Campus 1
24937 Flensburg

foerderverein@eum-enwi.de
<https://www.eum-enwi.de/>

Inhalt

Vorwort	2
Inhalt	3
▸ Doktorarbeiten.....	4
Optimization of Energy System Design and Operation using Multi-Objective Evolutionary Algorithms and Mixed-Integer Linear Programming	5
Combined Optimization of Grid and Storage Expansion in the German Power System.....	6
▸ Masterarbeiten.....	7
Energetische Quartiersentwicklung - Methodik zur gesamtenergetischen Beurteilung von neu zu erschließenden Quartieren im städtischen Raum.....	8
Vermarktungsmöglichkeiten eines Pumpspeicherkraftwerks am Strommarkt.....	8
▸ Bachelorarbeiten	10
Analyse des netzdienlichen Flexibilitätspotentials in einer Modellregion.....	11
Technische Voraussetzungen sowie die Wirtschaftlichkeit ausgewählter Geschäftsmodelle für Photovoltaikanlagen nach Auslauf der Einspeisevergütung	11
Zuverlässigkeit von SiC-MOSFETs - Stabilität der Gate-Threshold-Spannung und des Gate-Source-Widerstandes nach Pulsbelastung am Gate.....	11
Future costs and potential of green hydrogen – A literature review on fundamental prospects in Europe with specific focus on Germany.....	11
Demand-Side-Management: Betrachtung einer strompreisgesteuerten Fahrweise des Schöpfwerks Halbmond in Husum.....	12
Qualitative Status-Quo-Analyse der Flensburger Klimaschutzmaßnahmen mit Fokus auf die Maßnahmenumsetzung im kommunalen Wirkungsbereich.....	12

► Doktorarbeiten

Vermerk:

Wir freuen uns sehr, dass wir auch in dieser Ausgabe des EUM-/EnWi-Journals zwei Beiträge von Promovenden präsentieren dürfen. Es handelt sich um die Beiträge von Cord Kaldemeyer und Ulf Müller. Die Promotion der Autoren der Beiträge ist noch nicht abgeschlossen, sie soll in den nächsten Monaten erfolgen. Es handelt sich bei den Beiträgen um kurz gehaltene Zusammenfassungen der Doktorarbeiten, die vollständigen Arbeiten enthalten die ausführlichen Untersuchungen inklusive das Verständnis unterstützende Graphiken. Die vollständigen Doktorarbeiten sollen ab Sommer verfügbar sein, im Folgenden findet ihr die Sneak Preview.

Optimization of Energy System Design and Operation using Multi-Objective Evolutionary Algorithms and Mixed-Integer Linear Programming

Von Cord Kaldemeyer (2021)

Betreuer: 1. Prof. Dr. Olav Hohmeyer, Europa-Universität Flensburg; 2. Prof. Dr.-Ing. Ilja Tuschy, Flensburg University of Applied Sciences

A global transition of energy supply systems towards more sustainability requires the detailed investigation of different future pathways to examine their technical, economical and environmental feasibility. In this context, the energy system design and operation is often subject of discussion between different stakeholders with conflicting perspectives. This demands for new methods to optimize different criteria simultaneously. Such a method for the multi-objective design and operation of energy supply systems is developed and applied to a set of diverse case studies in this thesis.

The here developed method combines the strengths of multi-objective evolutionary algorithms (MOEA) and linear programming (LP) or mixed-integer linear programming (MILP) techniques. Regarding the system design, the former is capable of handling non-linearities and enables a real Pareto-optimization. Concerning the system operation, the latter offers the advantage of solving to optimality and dealing with large numbers of decision variables and constraints. Furthermore, different cluster algorithms can be applied to reduce the

model dimensionality and computational complexity via decomposition into representative partial models.

Different case studies demonstrate the broad range of method applications. In the first case study, a detailed compressed air energy storage system is optimized from an investor's perspective while considering technical and economical design objectives. In the second case study, a municipal district heating system is optimized from an operator's perspective regarding economical and environmental design objectives. As for the third case study, a multi-regional national power system is optimized from a central planner's perspective with regard to economical and environmental objectives. In summary, it can be demonstrated that the actual system design heavily depends on the considered optimization criteria and surrounding market environment.

This thesis shows that the proposed method allows for the optimization of arbitrary energy systems and gives deeper insights into the specific system's interrelations. It enables the modeller to answer a wide range of questions around the design and operation of future energy supply systems in technical, economical and environmental dimension while preserving criteria from different stakeholder perspectives. In conclusion, the developed method provides a more solid decision basis for the transformation of energy supply systems when compared to existing methods that consider only one objective.

Kontakt: cord.kaldemeyer@ane.energy

Combined Optimization of Grid and Storage Expansion in the German Power System

Von Ulf Philipp Müller (2021)

Betreuer: 1. Prof. Dr. Olav Hohmeyer, Europa-Universität Flensburg; 2. Prof. Dr. Jochen Wendiggensen, Flensburg University of Applied Sciences

The transition of the German power system towards a distributed renewable power supply motivates to determine systematically optimized, yet spatially detailed allocations of grid and storage expansion. In an open source approach, co-optimal grid and storage expansion is allocated to a grid of up to 500 buses and more than a 1000 lines representing in detail the German transmission and sub-transmission grid and in more abstract terms the electrical neighboring countries. Within a multi-period linear optimal power flow approach, the linear-

ized passive flow behavior of the AC components are considered. Grid and storage expansion in Germany are mainly driven by offshore and onshore wind feed-in leading to north-to-south transmission grid expansion, whereas distributed grid and storage expansion play a rather minor role. Instead, distributed biomass power generation is substantially supplying flexibility. Once this technology is less available, curtailment of renewable generation is restricted or specific storage investment costs decrease significantly, distributed storage expansion, mostly as long-term hydrogen storage in the north, becomes a feasible option. Furthermore, the spatially detailed modeling reveals that due to transit flows on the sub-transmission level the transmission level is relieved leading to fewer necessary grid expansion and overall costs.

Kontakt: ulf.philipp.mueller@gmail.com

► Masterarbeiten

Energetische Quartiersentwicklung - Methodik zur gesamtenergetischen Beurteilung von neu zu erschließenden Quartieren im städtischen Raum

Von Dorothea Riecken (2020)

In Zusammenarbeit mit RBS wave GmbH (Ettlingen & Stuttgart)

Das Ziel der Masterthesis war es, eine Methodik zu entwickeln, mithilfe derer eine energetische Beurteilungen für neu zu erschließende Stadtquartiere vorgenommen werden kann. Hierfür wurde ein Hilfstool in Excel entwickelt, in welchem standardisierte Berechnungen hinterlegt sind, auf Basis derer eine schnelle und unkomplizierte Potentialanalyse und -beschreibung anhand weniger technischer Parameter im Stadtquartier vorgenommen werden kann. Das Tool wird im Rahmen dieser Arbeit beispielhaft auf ein Stadtquartier in Baden-Württemberg angewendet. Auf Basis dieser Ergebnisse werden für das Quartier geeignete Wärmeversorgungsvarianten aufgestellt. Dabei handelt es sich sowohl um gebäudeindividuelle als auch Verbundlösungen, die im späteren Verlauf der Thesis im Hinblick auf wirtschaftliche und ökologische Kriterien miteinander verglichen werden.

Auf Basis dieser Ergebnisse kann sowohl nach wirtschaftlichen als auch ökologischen Gesichtspunkten eine Empfehlung für die gebäudeindividuelle Wärmeversorgung durch Luftwärmepumpen in Kombination mit PV-Anlagen ausgesprochen werden. Unter besonders starker Gewichtung der ökonomischen Kriterien kann aber auch eine Verbundwärmelösung durch die Verfeuerung von Holzhackschnitzeln oder Pellets empfohlen werden.

Die Ergebnisse eines solchen Versorgungsvariantenvergleichs dienen als Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung einer nachhaltigen energetischen Versorgung von Quartieren und sind somit ein wichtiges Instrument für die

auftraggebenden Kommunen, um langfristig Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor zu reduzieren.

Kontakt: d.riecken@rbs-wave.de

Vermarktungsmöglichkeiten eines Pumpspeicherkraftwerks am Strommarkt

Von Niels Oertel (2020)

In Zusammenarbeit mit der in.power GmbH

Pumpspeicherkraftwerke können ein wichtiger Baustein in der Energiewende sein, wenn sie denn wirtschaftlich sind. Um für das Pumpspeicherkraftwerks der Fallstudie Naturstromspeichers Gaildorf vor Fertigstellung ein Vermarktungskonzept zu entwickeln, wurden in dieser Master-Thesis Vermarktungsmöglichkeiten für ein Pumpspeicherkraftwerk zum aktuellen Zeitpunkt am Strommarkt untersucht.

Die Untersuchung wurde dabei anhand von drei Spotmärkten und einer Vermarktung von Primärregelleistung durchgeführt. Um die verschiedenen Vermarktungsoptionen zu quantifizieren, wurde das Erlöspotential an diesen Strommärkten von 01.01.2016 bis 30.06.2020 untersucht. Anhand der linearen Optimierung einer Deckungsbeitragsanalyse konnte der kontinuierliche Intraday-Handel als Strommarkt mit dem höchsten Erlöspotential für das erste Halbjahr 2020 identifiziert werden.

Weiterführend wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, mit der Parameter aus der linearen Optimierung identifiziert werden konnten, die beim Handeln einen hohen Einfluss auf den Erlös haben. Mit der Standardabweichung dieser Parameter über den vergangen Betrachtungszeitraum, konnte in Kombination mit der Sensitivitätsanalyse, eine Risikobewertung dieser Parameter für das Handeln erstellt werden.. Daraufhin wurde eine Handelsstrategie entwickelt, die für das erste Halbjahr 2020

simuliert wurde und mit den Ergebnissen der linearen Optimierung verglichen wurden.

Kontakt: nils.oertel@posteo.de

▶ Bachelorarbeiten

Analyse des netzdienlichen Flexibilitätspotentials in einer Modellregion

Von Marit Naeve (2020)

In Zusammenarbeit mit der Schleswig-Holstein Netz AG

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde eine Methodik entwickelt, um eine Region bezüglich ihres Flexibilitätspotentials zu bewerten. Hierfür wurden die Fähigkeiten von verschiedenen Erzeuger- und Verbrauchertypen sowie Netzbetriebsmitteln auf Basis verschiedener Richtlinien und gesetzlichen Vorgaben anhand einer Nutzwertanalyse bewertet. Dabei wurde sowohl das vorhandene als auch das theoretische Potential untersucht. Durch zusätzliche Nutzwertanalysen zu den Fähigkeiten der Steuerungsoptionen sowie zu den Infrastrukturmerkmalen konnten weitere Erkenntnisse über das netzdienliche Potential in der Region aufgezeigt werden. Dieses bildet die Basis für mögliche Validierungen von Use Cases in Bezug auf das Thema Flexibilität. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden auf die Modellregion des Forschungsprojektes ENSURE angewendet. Die Kernregion des sogenannten „Energiekosmos ENSURE“ besteht aus acht Gemeinden im Kreis Steinburg in Schleswig-Holstein.

Kontakt: marit.n@web.de

Technische Voraussetzungen sowie die Wirtschaftlichkeit ausgewählter Geschäftsmodelle für Photovoltaikanlagen nach Auslauf der Einspeisevergütung

Von Christoph Jansen (2020)

In Zusammenarbeit mit der EWS GmbH & Co. KG, Großhandel für Photovoltaikbedarf

2021 ist die Einspeisevergütung für die ersten PV-Anlagen, die nach dem EEG 2000 für 20

Jahre vergütet wurden, ausgelaufen. Zum Zeitpunkt Vergütung gab es noch keine „Anschlussregelung“ für die ausgeführten Anlagen. Ich habe die rechtlichen möglichen Optionen der Vermarktung und des Eigenverbrauches analysiert, die technischen Anforderungen für diese Optionen erarbeitet und die Kosten für einen meist erforderlichen Umbau und den Weiterbetrieb berechnet.

Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für die verschiedenen Optionen wurde in Abhängigkeit von der Anlagenleistung durchgeführt, und es wurden konkrete Empfehlungen für die relevanten Anlagenleistungen gegeben.

Kontakt: christoph.cedric.jansen@gmail.com

Zuverlässigkeit von SiC-MOSFETs - Stabilität der Gate-Threshold-Spannung und des Gate-Source-Widerstandes nach Pulsbelastung am Gate

Sperrvermerk

Von Katharina Esterl (2020)

In Zusammenarbeit mit Danfoss Silicon Power GmbH (Flensburg)

Kontakt: katharinaesterl@web.de

Future costs and potential of green hydrogen – A literature review on fundamental prospects in Europe with specific focus on Germany

Sperrvermerk

Von Tim Weishaupt (2020)

In Zusammenarbeit mit der RWE Renewables GmbH

Kontakt: tim.weishaupt@kabelmail.de

Demand-Side-Management: Betrachtung einer strompreisgesteuerten Fahrweise des Schöpfwerks Halbmond in Husum

Von *Anneke Martens (2020)*

In Zusammenarbeit mit North-Tec (Bredstedt)

In der Arbeit wird eine strompreisgesteuerte Fahrweise des Schöpfwerks Halbmond in Husum als Fallbeispiel für Demand-Side-Management auf der Nachfrageseite im Energiesystem betrachtet. Als zielsetzende Fragestellung ist zu beantworten, ob diese Fahrweise technisch und wirtschaftlich attraktiv ist. Dafür wird ein technisches Lösungskonzept dieser Fahrweise für das Schöpfwerk entwickelt und im Hinblick auf technische und wirtschaftliche Aspekte analysiert. Das methodische Vorgehen erfolgt angelehnt an die systemtechnische Methodik. Nach einer thematischen Einführung in die Grundlagen des Demand-Side-Managements und einer Beschreibung des Schöpfwerks Halbmond, wird das Lösungskonzept angelehnt an die VDI Richtlinie 2221 entwickelt. Die anschließende technisch-wirtschaftliche Analyse basiert auf dem Prinzip einer Nutzwertanalyse, welche unter anderem durch die Methodiken der Szenariotechnik und Sensitivitätsanalyse ergänzt wird.

Das Schöpfwerk Halbmond entwässert das umliegende Binnenland, indem es überschüssiges Niederschlagswasser mittels drei Pumpen oder eines Freilaufs durch den Siel in das Husumer Hafenbecken befördert. Im Rahmen des Lösungskonzeptes wird ein Algorithmus entwickelt, welcher die Pumpen automatisch anhand von Pegelgrenzwerten und günstigen Spotpreissignalen der EPEX-SPOT steuert. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer manuellen Fahrplanerstellung. Der Entwicklungsaufwand für das Konzept begrenzt sich auf Softwareentwicklung und wird mit einem Kostenaufwand von 12.000 Euro abgeschätzt. In der technisch-wirtschaftlichen Analyse wird dieses Konzept mit einer automatisierten

Fahrweise verglichen, welche die Pumpen rein anhand von Pegelgrenzwerten steuert. Insgesamt kann festgestellt werden, dass keine monetären und nicht-monetären Nachteile durch eine strompreisgesteuerte Fahrweise des Schöpfwerks Halbmond zu erwarten sind.

Stattdessen wird eine durchschnittliche jährliche Stromkosteneinsparung zwischen 8% und 9% prognostiziert, wodurch sich die Investitionskosten nach ungefähr zwei bis fünf Jahren amortisieren. In der Gesamtbewertung der Fahrweisen mittels Nutzwertanalyse übersteigt der Nutzwert der strompreisgesteuerten Fahrweise den der rein pegelgesteuerten Fahrweise um etwa 7% des optimal erreichbaren Wertes. Zudem unterstützt die vermehrte Nutzung von Demand-Side-Management einhergehend mit dem Ausbau volatiler erneuerbarer Energien die Erhaltung der Netzstabilität. Eine Umsetzung des Konzeptes der strompreisgesteuerten Fahrweise wird somit als technisch und wirtschaftlich attraktiv eingeschätzt und für das Schöpfwerk Halbmond empfohlen. Darüber hinaus wird die Erforschung des Flexibilitätsbedarfs auf der Nachfrageseite angeregt, um begründete wirtschaftliche und rechtliche Anreize für die vermehrte Nutzung von Demand-Side-Management zu schaffen.

Kontakt: annekemartens@t-online.de

Qualitative Status-Quo-Analyse der Flensburger Klimaschutzmaßnahmen mit Fokus auf die Maßnahmenumsetzung im kommunalen Wirkungsbereich

Sperrvermerk

Von *Luca Sprick (2021)*

In Zusammenarbeit mit dem Klimaschutzmanagement der Stadt Flensburg

Seit der Erstellung der Flensburger Klimaschutzstrategie wurde keine qualitative Status-

Quo- Analyse der Maßnahmenumsetzung für den kommunalen Wirkungsbereich durchgeführt. Damit fehlt den Entscheidungsträgern der Stadtverwaltung Flensburg eine aktuelle Entscheidungsgrundlage, um auf dem Weg zur Klimaneutralität bis 2050 zu bleiben. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen einen wichtigen Beitrag dazu leisten.

Um diese Entscheidungsgrundlage zu schaffen wurden mit Akteur:innen Interviews geführt, die im kommunalen Wirkungsbereich Klimaschutzmaßnahmen umsetzen. Mithilfe der Interviews konnte eine Status-Quo-Analyse durchgeführt werden, mit Fokus auf die Maßnahmenumsetzung der Klimaschutzmaßnahmen im kommunalen Wirkungsbereich. Die Ergebnisse der Status-Quo-Analyse zeigen, dass in Flensburg ein starker Fokus auf die Umset-

zung von technischen Klimaschutzmaßnahmen und ein zu geringer auf die Umsetzung von verhaltensbezogenen Klimaschutzmaßnahmen gelegt wurde.

Damit Flensburg auf dem Weg zum selbstgesteckten Ziel - Klimaneutralität bis 2050 bei gleichzeitiger Halbierung des Endenergiebedarfs - bleiben kann, müssen neben den Anstrengungen bei der Umsetzung von technischen Klimaschutzmaßnahmen noch stärkere Anstrengungen für verhaltensbezogene Klimaschutzmaßnahmen aufgewendet werden. Ein Beispiel dafür könnte die verstärkte Umsetzung der begleitenden Umsetzungsstrategie aus dem Integrierten Klimaschutzkonzept der Stadt Flensburg sein.

Kontakt: luca.sprick@posteo.de