

# PROZESS UND WERKZEUGKETTE ZUR MULTIKRITERIELL OPTIMIERTEN AUSLEGUNG KOMMUNALER ENERGIESYSTEME

Andreas STADLER<sup>1</sup>, Dominic MUTZHAS<sup>2</sup>, Jan VOLLMAR<sup>3</sup> und Herbert PALM<sup>4</sup>

## Dezentralisierung der Energiesysteme stärkt kommunale Verantwortung

Die im Pariser Klimaabkommen [1] auf internationaler Ebene vereinbarten Ziele einer klimaneutralen Energieversorgung bedingen einen dreifach disruptiven Wechsel zugrundeliegender Energiesysteme. Neben einer Umstellung fossiler auf nachhaltige Primärenergieträger werden Effizienz- und Ressourcen-getrieben bislang zentrale Formen der Netztopologie mit sektorentkoppelten Anlagen einer dezentral geprägten Netztopologie mit sektorgekoppelten Anlagen weichen. Diese Dezentralisierung verlagert den Schwerpunkt der Verantwortung für Konzeption, Bau und Betrieb von Energiesystemen auf die kommunale Ebene. Um der so wachsenden kommunalen Verantwortung nachkommen zu können, müssen kommunale Entscheidungsträger befähigt werden, die Vielfalt möglicher Ausbaualternativen (über)kommunaler Energiesysteme zu kennen, zu überblicken und zu beherrschen.

Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 2010 der prozessuale Ansatz der „Energienutzungsplanung“ (ENP) [2] als kommunales Planungsinstrument im Bayerischen Energiesektor etabliert. Das ENP Konzept folgt einem 3-stufigen Prozess ausgehend von einer „Bestands- und Potenzialanalyse“ über die „Konzeptentwicklung“ bis zur „Umsetzung“. Trotz vielfacher Anwendungserfolge fehlt für kommunale Entscheidungen großer Tragweite jedoch der *vergleichende* Aspekt der Potenzialanalyse. Eine quantitative Bewertung alternativer Investitionen in Anlagen zur nachhaltigen Bereitstellung von Energie erscheint zwingend notwendig, um insbesondere bei Bürgerbeteiligungen zur Anlagenfinanzierung eine gesamtoptimierte Lösung propagieren und umsetzen zu können. Der vorliegende Artikel stellt zu diesem Zweck a) den methodischen Hintergrund sowie b) eine darauf basierende Werkzeugkette zur quantitativ vergleichenden Potenzialanalyse im Kontext einer multikriteriellen Energiesystemoptimierung vor.

## Methodik zur multikriteriell optimierten Energienutzungsplanung

Fokus der vorliegenden Arbeit ist die um den Aspekt der Systemoptimierung erweiterte ENP Phase 1 zur „Bestands- und Potenzialanalyse“. Dabei soll der Bedarf ermittelt, die Technologie- und Standort-bezogenen Alternativen eines Ausbaus in deren topologischen und parametrischen Varianten erfasst, hinsichtlich deren Zielerreichungsgrad miteinander verglichen und multikriteriell optimierte Systemauslegungen identifiziert werden. Konkret lassen sich die Ziele dieser Arbeitsphase durch die in Abbildung 1 gezeigten fünf Schritte erreichen:

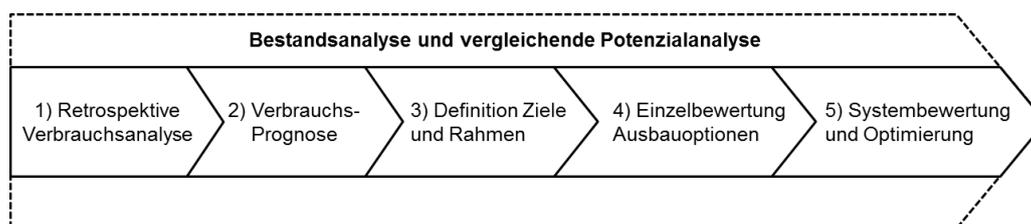


Abbildung 1: Referenzprozess zur Bestandsanalyse und vergleichenden Potenzialanalyse

In den Schritten 1 („retrospektive Verbrauchsanalyse“) und 2 („Verbrauchsprognose“) entsteht ein Überblick zum historischen bzw. prognostizierten zukünftigen Bedarf in den Endenergiesektoren Wärme, Verkehr und Elektrizität. In Schritt 3 werden die Indikator-basierten kommunalen Ausbauziele sowie ggf. einzuhaltende Rahmenbedingungen konkretisiert. In Schritt 4 entsteht nach dem Ansatz einer morphologischen Analyse der Raum der möglichen Ausbauoptionen („Design Space“) und damit der Rahmen Technologie-spezifischer (e.g. Windkraft-, Freiflächen-PV-, BHKW- oder Geothermie-Anlagen) Ausbaualternativen. Schritt 5 bewertet die Trade-offs dieser Optionen im Kontext einer

<sup>1</sup> HAW München, ISES, Lothstraße 64, D-80335 München, andreas.stadler@hm.edu

<sup>2</sup> HAW München, ISES, Lothstraße 64, D-80335 München, dominic.mutzhas@hm.edu

<sup>3</sup> Siemens AG, Technology, Günther-Scharowsky-Str.1, D-91058 Erlangen, jan.vollmar@siemens.com

<sup>4</sup> HAW München, ISES, Lothstraße 64, D-80335 München, palm@hm.edu

multikriteriell optimierten Systemarchitektur und stellt die Ergebnisse in Form der Zielindikator „Trade-offs“ sowie der Sensitivitäten dieser Zielindikatoren als Funktion von Variablen der Anlagenauslegung dar. Die multikriterielle Systemoptimierung folgt methodisch dem Ansatz der Hyper Space Exploration (HSE) [3]. Die HSE konforme Umsetzung des Referenzprozesses nach Abb.1 erfordert eine dedizierte Werkzeugkette gemäß [4]. Im Kern werden dazu neben einer zentralen Datenbank die in Abbildung 2 gezeigte Modellierungs- und Simulationsumgebung für Energiesysteme sowie die HSE spezifische Umgebung zu Versuchsplanung, Skriptkontrolle, Analyse, Optimierung und Visualisierung eingesetzt:

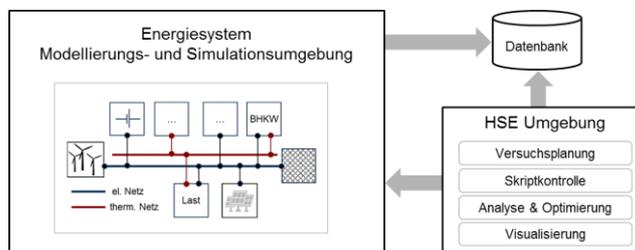


Abbildung 2: Werkzeugkette zur vergleichenden Potenzialanalyse

## Ergebnisse und Darstellung multikriteriell optimierter Energienutzungspläne

Der gemäß dem in Abb.1 gezeigten Ablauf und mittels der in Abb.2 dargestellten Werkzeugkette umsetzte Prozess befähigt Entscheidungsträger a) einen multikriteriell optimierten „Masterplan“ der kommunalen Energiewende zu erstellen und b) Maßnahmen in Bezug auf die darin enthaltenen Anlagen einzuleiten. Eine übersichtliche und wesentliche Entscheidungsaspekte adressierende Darstellung der Prozess(teil)ergebnisse wie in Abb. 3 beispielhaft gezeigt hat sich dazu als essentiell herausgestellt.

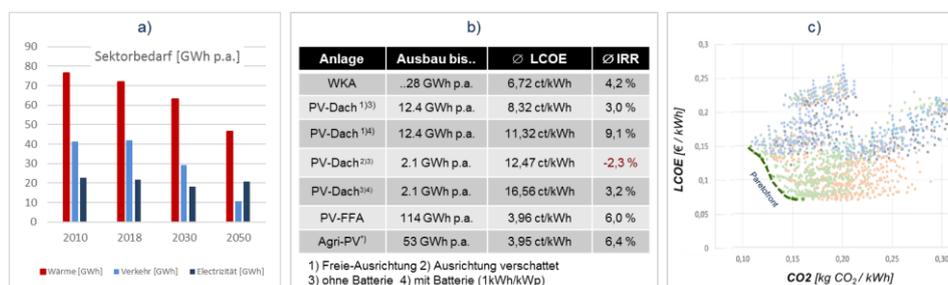


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung ausgewählter Prozessergebnisse

Abb.3a stellt historische Sektor-spezifische Endenergieforderungen einer beispielhaft gewählten ca. 10.000 Einwohner umfassenden Kommune den prognostizierten zukünftigen Anforderungen gegenüber. Abb.3b ergänzt für dieselbe Kommune Ausbaupotenziale verfügbarer Technologien sowie zugehörige Energiegestehungskosten (LCOE) und Kapitalrückfluss (IRR). Abb.3c zeigt beispielhafte „Trade-offs“ möglicher Anlagenauslegungen (Punkte im Diagramm) für LCOE und den damit verbundenen Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>). Unterschiedliche Farben kennzeichnen dabei unterschiedliche am Gesamtsystem beteiligte Technologiegruppen. Die Menge multikriteriell optimierter (i.e. „nicht-dominierter“ oder „Pareto-optimaler“) Systemauslegungen definiert die „Paretofront“.

Die im vorliegenden Beitrag beschriebene Methodik befindet sich noch im frühen Stadium deren Anwendung. Erste Erfahrungen damit sowie bislang erhaltene Rückmeldungen lassen jedoch bereits deren Mehrwert im Rahmen kommunaler Energie(ausbau)planung deutlich erkennen.

## Referenzen

- [1] United Nations Framework Convention on Climate Change, „Paris agreement,“ (2015).
- [2] Energienutzungsplanung, Bayerische Staatsregierung, <https://www.energieatlas.bayern.de/kommunen/energienutzungsplan.html> (26.10. 2021).
- [3] Herbert Palm, Jörg Holzmann: „Hyper Space Exploration – A Multicriterial Quantitative Trade-Off Analysis for System Design in Complex Environment“, IEEE ISSE (2018)
- [4] Fabian Rang, Herbert Palm, Jan Vollmar: „Designing Complex Decentralized Energy Systems Based on the Hyper Space Exploration Approach“, IEEE ISSE (2019)