

VALIDIERUNG EINER WERKZEUGKETTE ZUR MULTIKRITERIELLEN OPTIMIERUNG VON ENERGIESYSTEMEN AUF MODELICA BASIS

Sebastian Mortag^{1*} und Herbert PALM^{2*}

Motivation und Zielstellung

Die Verantwortung für Planung, Installation und Betrieb von dezentralen Energiesystemen verschiebt sich im Rahmen der Energiewende auf die kommunale Ebene. Entscheidungen über Konzeption und Umsetzung von Energiewendemaßnahmen werden vielfach von lokalen Verantwortlichen getroffen. Fundierte Entscheidungen bedürfen der dazu notwendigen Daten und Entscheidungsvorlagen. Vielfach werden Ingenieurbüros oder Forschungseinrichtungen dabei mit Datenbeschaffung und Aufbereitung beauftragt, die dafür wiederum geeignete Modellierungs- und Simulationssoftware benötigen. Die zugehörigen Werkzeuge sollten entsprechend kostengünstig sein, aber gleichermaßen den an sie gerichteten Anforderungen zur multikriteriell optimierten Auslegung kommunaler Versorgungssysteme genügen. Gängige proprietäre Software kann dies nicht oder nur stark eingeschränkt leisten. Die Software Anschaffung ist vielfach mit hohen Lizenzkosten verbunden, die Funktionalität multikriterieller Optimierung fehlt häufig. Die vorliegende Arbeit stellt eine Alternative auf Open-Source Basis vor und beschreibt die Validierung der Werkzeugkette zur freien, breiten Nutzung im kommunalen Umfeld.

Methodik

In diesem Artikel wird eine Open-Source Werkzeugkette zum Entwurf und zur multikriteriellen Optimierung kommunaler Energiesysteme vorgestellt. Sie dient der Umsetzung etablierter Referenzprozesse in diesem Umfeld [1,2] und besteht wie in Abbildung 1 gezeigt aus einer Domänen-spezifischen Modellierungs- und Simulationsumgebung für Sektor-gekoppelte Energiesysteme sowie einer generischen Umgebung zu deren Analyse und multikriterieller Optimierung. Methodisch folgt der Prozess dem Ansatz der Hyper Space Exploration (HSE) während die Werkzeugkette die Umsetzung der darin geforderten Einzelschritte ermöglicht [1]. In der Modellierungsumgebung werden validierte Komponenten vom Typ „Energiewandler“ (e.g. Windkraft- und Freiflächen-PV-Anlagen), „Speicher“ (e.g. elektrische oder thermische Energiespeicher) und „Verbraucher“ (v.a. Strom- und Wärmesenken) benötigt, die entsprechend physikalisch realer Optionen (speziell Sektor-gekoppelt) miteinander verbunden werden können. Die Vielzahl möglicher topologischer Alternativen von Energiesystemen favorisiert einen Objekt-orientierten (OO) Ansatz in Form gekapselter, implizit formulierter Entitäten der Elementbeschreibung, der in umfassender Form von der Modellierungssprache Modelica bedient wird.

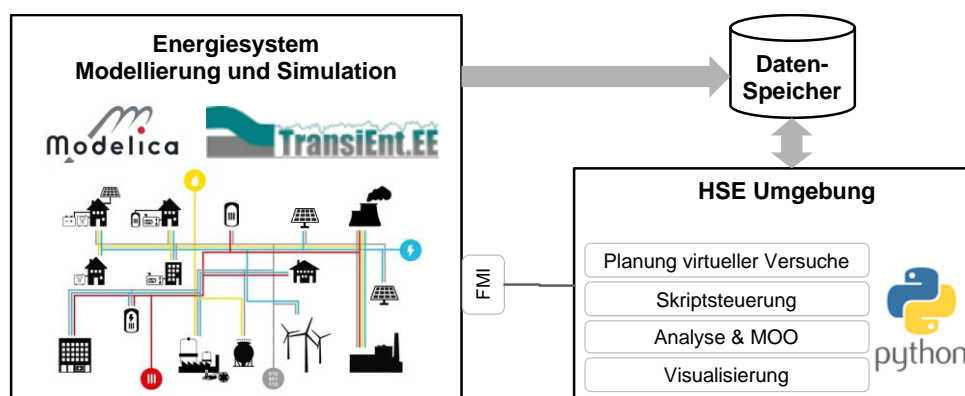


Abbildung 1: Konzeptionelle Darstellung der Werkzeugkette.

Für die Modellierung der Energiesysteme wird die OO Bibliothek TransiEnt [3] eingesetzt. Wesentliche Parameter der Komponentenmodelle werden für ausgewählte Systemkomponenten kalibriert. Die

¹ Hochschule München, +49 89 1265-3445, mortag@hm.edu, www.hm.edu

² Hochschule München, +49 89 1265-3420, palm@hm.edu, www.hm.edu

* ISES-Institut, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Lothstraße 34, 80335 München

darauf aufbauenden System-Modelle werden entsprechend des Standards FMI (Functional Mock-up Interface) als FMUs (Functional Mock-up Units) exportiert und können damit Skript-basiert in der „HSE Umgebung“ aufgerufen werden. Simulationsergebnisse zur „Planung virtueller Experimente“ sind damit als rechenintensive black-box Abfragen für die Python basierte Analyse und multikriterielle Optimierung (Multi Objective Optimization MOO), die auf dem Open-source Paket *paref* [4] basiert, verfügbar.

Die Werkzeugkette wird zunächst auf Komponentenebene und dann auf Systemebene validiert. Auf der Komponentenebene werden einzelne Komponenten vom Typ „Energiewandler“ und „Speicher“ kalibriert und anhand von Einzelkurven verglichen. Auf der Systemebene werden verschaltete Komponenten mit Parametersätzen parametrisiert und mit vorliegenden Ergebnissen einer validierten Modellierungs- und Simulationsumgebung verglichen.

Ergebnisse

Ergebnisse der Validierung auf Komponentenebene werden beispielhaft zunächst anhand einer Windkraftanlage (WKA) vom Typ Nordex N149 5.7MW vorgestellt, die mit bekannten Anlagekennwerten parametrisiert ist. Simulationen mit Windgeschwindigkeitsdaten für die Standorte München-Stadt und Höhenkirchen-Siegertsbrunn ergeben einen kumulierten Ertrag, der für den Zeitraum von einem Jahr um weniger als 5% von den Simulationsergebnissen der Software PSS@DE [5] abweicht. Nach gleicher Vorgehensweise wurden Photovoltaik-Freiflächen Anlagen (PV-FFA) mit 0,5 bis 2 MW Peak-Leistung parametrisiert und ausgewertet. Die Ergebnisse liegen innerhalb eines 5%-Fehlertoleranzbandes.

Im zweiten Schritt (der Systemvalidierung) wurden nach einem Szenario-basierten Testansatz zunächst einzelne Systemszenarien und Anwendungsfälle ausgewählt. Im vorliegenden Fall wurden Leistungsanforderungen einer ausgewählten süddeutschen Kommune mit ca. 11.000 Einwohnern und den für diese Kommune verfügbaren Lastprofilen verwendet und relevante WKA, PV-FFA und Batterieelektrische Speichersystem (BESS) Komponenten anhand vorliegender Datenblätter parametrisiert und ausgewertet. Die Auswertungen zeigen im PSS@DE vs. Modelica Vergleich der Simulationsergebnisse in einzelnen Fällen Abweichungen um bis zu 10%. Bei Betrachtungen über einen Zeitraum von einem Jahr betragen die Abweichungen nach der Least-Mean-Square-Error Methode weniger als 5%.

Die Validierung auf Systemebene zeigt, dass die Open-Source Werkzeugkette bei tolerierten Abweichungen von circa 5% die Anforderungen an eine kostengünstige und transparente Energiesystemauslegung umfassend erfüllt. Ihre Verwendung stellt damit eine vielversprechende Alternative zu gängiger proprietärer Software zur Auslegung von Energiesystemen dar. Die vorgestellte Werkzeugkette ermöglicht Entscheidungsträgern auf kommunaler Ebene, transparente Entscheidungen auf Basis quantifizierter Trade-offs Pareto-optimaler Systemauslegungsvarianten zu treffen. Durch die Transparenz und die geringeren Kosten stellen Open-Source Werkzeuge eine geeignete Lösung für die Datenbeschaffung und deren Aufbereitung im Umfeld kommunaler Energiewende dar.

Zukünftige Forschungsarbeiten sollen die Werkzeugkette hinsichtlich deren Nutzerfreundlichkeit, Abbildung weiterer Anforderungen sowie über Validierungsstudien zur Sektorenkopplung voranbringen.

Referenzen

- [1] Palm, Herbert & Holzmann, Jörg. (2018). Hyper Space Exploration A Multicriterial Quantitative Trade-Off Analysis for System Design in Complex Environment. 1-6. 10.1109/SysEng.2018.8544435.
- [2] Stadler, Andreas & Mutzhas, Dominic & Vollmar, Jan & Palm, Herbert. (2022). Prozess und Werkzeugkette zur multikriteriell optimierten Auslegung kommunaler Energiesysteme. 10.13140/RG.2.2.24208.69122.
- [3] Andresen, Lisa & Dubucq, Pascal & Peniche Garcia, Ricardo & Ackermann, Günter & Kather, Alfons & Schmitz, Gerhard. (2015). Status of the TransiEnt Library: Transient Simulation of Coupled Energy Networks with High Share of Renewable Energy. 10.3384/ecp15118695.
- [4] Paref Package, <https://paref.readthedocs.io/en/latest/> (2023-11-28)
- [5] Siemens, Data Sheet PSS@DE. <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/grid-software/planning/pss-software.html> (2023-11-28)