

Analyse von Open-Access-Modellen und deren Relevanz für die Energiesystemanalyse

(6) Modellierung

Stella Oberle¹, Rainer Elsland

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe, +49 721 6809-248, Stella.Oberle@isi.fraunhofer.de, www.isi.fraunhofer.de

Kurzfassung:

Das Voranschreiten der Energiewende führt zu einer steigenden Komplexität des Energiesystems. Damit einher geht die Forderung nach einer zunehmenden Transparenz bei der Energiesystemanalyse hinsichtlich der getroffenen Annahmen und der methodischen Ausgestaltung, um die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen zu ermöglichen. Vor diesem Hintergrund steigt die Nachfrage nach öffentlich zugänglichen Modellen, Open-Access-Modellen (OAMs), die bereits über ein hohes Maß an Vielfalt verfügen. Diese Studie analysiert und vergleicht den methodischen Rahmen verschiedener OAMs, um langfristige Energieszenarien zu bewerten. In einem ersten Schritt werden ausgewählte OAMs basierend auf ihrer Zugänglichkeit typisiert. Danach werden die OAMs nach vordefinierten Kriterien charakterisiert, um eine Aussage zu treffen, ob ein bestimmter Modelltyp gewisse Kriterien erfüllt und somit zur Analyse von Energieszenarien verwendet werden kann. Die Analyse zeigt, dass eine große Vielfalt zwischen den OAMs auch hinsichtlich der verschiedenen Grade der Zugänglichkeit existiert. Prinzipiell scheinen OAMs mit einem hohen Grad an Zugänglichkeit eine eher geringere Modelliertiefe aufzuweisen und fokussieren sich zudem oft auf die Analyse eines einzelnen Zieljahres.

Keywords: Open Access, Open-Access-Modellierung, Energiesystemanalyse, Energiesystemmodelle, Modellvergleich

1 Motivation und zentrale Fragestellung

Um dem Klimawandel entgegenzuwirken, ist die internationale Gemeinschaft bestrebt, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur unter 2 °C zu halten im Vergleich zum vorindustriellen Niveau [1]. Die deutsche Bundesregierung leitet daraus das Ziel ab, die Treibhausgasemissionen bis 2050 gegenüber dem Niveau von 1990 um 80 bis 95 Prozent zu senken [2]. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine grundlegende Transformation des Energiesektors hin zu nachhaltigen Lösungsansätzen notwendig. Die Durchführung dieser Transformation ist Gegenstand vieler Diskussionen, sodass ein großer Bedarf an

¹ Jungautor

Erkenntnissen aus quantitativen Analysen besteht – unter der Berücksichtigung von Unsicherheiten [3].

Eine der wesentlichen Methoden zur Untersuchung zukünftiger Entwicklungsmöglichkeiten eines Energiesystems ist die Szenario-Analyse, die anhand von Energiesystemmodellen quantifiziert werden [4]. Seit der ersten Ölkrise 1973 werden Energiesystemmodelle in Kombination mit Energieszenarien häufig zur Beantwortung von Forschungsfragen für politische Entscheidungsträger und Institutionen der Energiewirtschaft eingesetzt (Abbildung 1) [5] [6]. Als Folge der Ölkrise startete die Internationale Energieagentur (IEA) 1976 das „Energy Technology System Analysis Program“ (ETSAP) mit dem Ziel, das erste techno-ökonomische Energiesystemmodell mit einem hohen Detaillierungsgrad zu entwickeln. Dieses Modell wurde vor allem zur Analyse der Öl-Nachfrage und einer effizienteren Nutzung von Endenergien angewandt [7]. In den Folgejahren wurden mächtige Modelle wie PRIMES [8] oder LEAP [9] entwickelt, die heute häufig für umfassende Analysen innerhalb und außerhalb Europas eingesetzt werden. Aufgrund des hohen Bedarfs an Modellierungsexpertise zur Abbildung von Energiesystemen, wurden im Laufe der Zeit in akademischen Einrichtungen eine Vielzahl von Modellen entwickelt, die in der Regel kommerziell zur Bewertung von Energieszenarien für industrielle und politische Entscheidungsträger eingesetzt werden. [5] [10]

Begleitet wurde diese Entwicklung von Fragen zur begrenzten Transparenz und Reproduzierbarkeit von Energiesystemanalysen, die in den letzten Jahren oft kritisiert wurde [5]. Um dieser Kritik entgegenzuwirken, wurde eine Open-Access-Bewegung ins Leben gerufen [11] [12], die 2014 zur Gründung der „Open Energy Modelling Initiative“ führte [13]. Das Ziel der Initiative ist es, die Entwicklung und Nutzung von Open-Access-Modellen (OAMs) zur Unterstützung hochrangiger Entscheidungen in Wirtschaft und Politik zu fördern [13]. Der Begriff Open Access ist nicht zu verwechseln mit dem Begriff Open Source. Müller et. al. unterscheiden die Modelle als „partly closed source software (CSS)“ und „partly open source software (OSS)“, bei welchem letzteres zum Beispiel Modelle, die mit Python programmiert wurden und CCS Modelle, die mit GAMS [14] erzeugt wurden sind [15]. Bei Open Source handelt es sich somit um ein Modell mit zugänglichem Quellcode, während in dieser Studie der Fokus auf Modellen liegt, die generell zugänglich und verwendbar (Open Access) sind, doch nicht zwingend den Quellcode veröffentlichen [13].

Trotz der dynamischen Entwicklung der OAMs in den letzten Jahren ist dieses Forschungsfeld im Vergleich zu den derzeit im kommerziellen Kontext angewandten Modellen noch recht jung. Ziel dieser Studie ist es, zu analysieren, ob die derzeitigen OAMs über einen methodischen Rahmen verfügen, der es ermöglicht, die heutigen Energieszenarien zu bewerten.

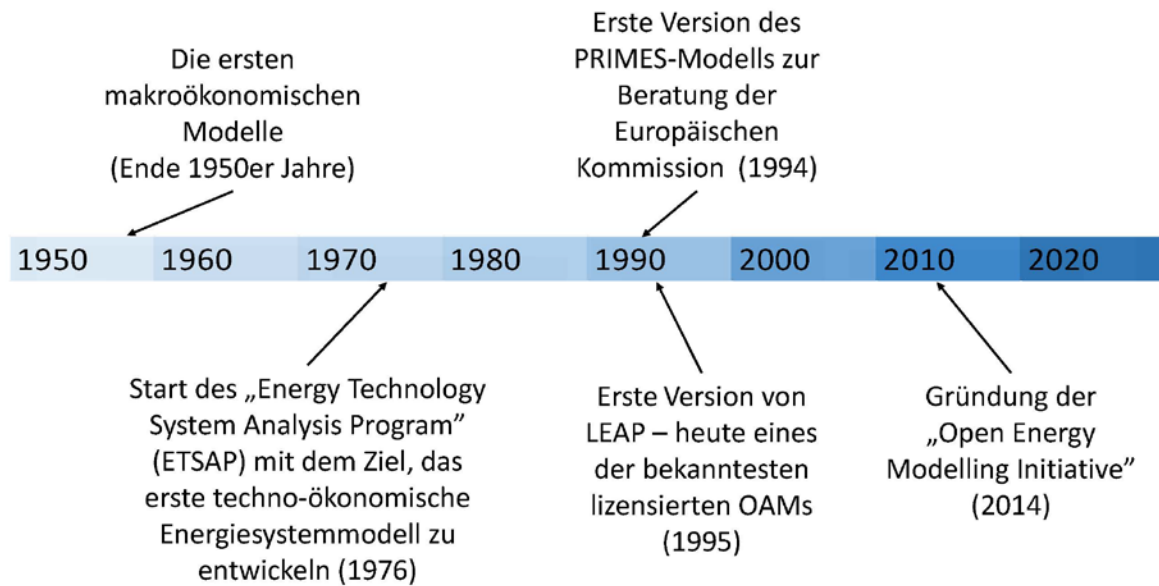


Abbildung 1: Meilensteine der Energiesystemmodellierung (Eigene Darstellung basierend auf [6] [7] [8] [9] [13])

2 Methodische Vorgehensweise

Um die Frage zu beantworten, ob heutige OAMs über den ausreichenden methodischen Rahmen zur Energiesystemanalyse verfügen, werden 40 verschiedene OAMs analysiert. Neben den Modellbeschreibungen und -handbüchern bilden Review-Studien wie zum Beispiel von Connolly et al. [16] oder Hall et al. [17] die Grundlage für die Analyse. Im ersten Schritt werden die Modelle anhand ihrer Zugänglichkeit gruppiert (Typisierung) [18] sowie die unterschiedlichen Modellarten mit ihren Modellierungsansätzen – Top-down, Bottom-up und Hybrid – betrachtet [19].

Der Top-down-Ansatz betrachtet das System von einer aggregierten Ebene und disaggregiert von dort aus. Typische Top-down-Modelle sind Input-Output-Modelle, allgemeine Gleichgewichtsmodelle und makroökonomische Modelle [20] [21] [22]. Bottom-up-Modelle hingegen beschreiben ein System basierend auf einer technologischen Perspektive. Das bedeutet, dass sie auf der Grundlage von detaillierten Daten zunehmend aggregieren, um ein Gesamtsystem zu beschreiben. Modelle, die den Bottom-up-Ansatz verwenden, können in Accountingmodelle, Simulationsmodelle und Optimierungsmodelle unterteilt werden [20] [21] [22]. Mit zunehmender Systemkomplexität werden diese beiden Modellierungsansätze kombiniert, um ein realistischeres Ergebnis zu erzielen. Diese kombinierten Modelle werden "Hybridmodelle" genannt [20] [21] [22].

In einem nächsten Schritt werden die Methoden der Modelle genauer untersucht, um ihre Fähigkeit zur quantitativen Untersuchung aktueller Energieszenarien abzuleiten (Charakterisierung). Die hierfür benötigten Kriterien werden überwiegend anhand der „transparency checklist“ von Cao et al. identifiziert [23].

3 Ergebnisse

Im Rahmen der OAM-Typisierung können vier Gruppen unterschieden werden, die sich in ihrem Grad der Zugänglichkeit unterscheiden (Abbildung 2): Der Gruppe mit der höchsten Zugänglichkeit sind Modelle zugeordnet, die kostenlos heruntergeladen und ohne zusätzliche Software verwendet werden können, wie zum Beispiel EnergyPlan [24] oder DESSTinEE [25]. Die zweite Gruppe umfasst Open-Access (OA)-Frameworks, die als Toolboxen fungieren, aus denen einzelne Codefragmente kombiniert und zu einem Modell implementiert werden können, welches dann zur Analyse eines Systems verwendet wird. Ein bekanntes OA-Framework ist oemof [26]. Oemof ist intuitiv bedienbar und flexibel einsetzbar, sodass auch die Sektorkopplung untersucht werden kann. Die dritte Gruppe beinhaltet OAMs, die zusätzliche Open-Source (OS)-Software wie Solver oder Programmiersprachen benötigen, sodass eine gewisse Zeit benötigt wird, um diese Software herunterzuladen und auf ihre Kompatibilität zu prüfen. Dies ist beispielsweise bei OSeMOSYS [27] der Fall, das den GLPK OS Solver [28] benötigt. Schließlich umfasst die vierte und am wenigsten zugängliche Gruppe diejenigen Modelle, die zusätzliche kommerzielle Software erfordern. Diese Modelle werden oft nur mit ihrem Quellcode veröffentlicht und es müssen zusätzliche Programmierumgebungen erworben werden, wie z. B. bei dem Model Balmorel [29], das nur mit GAMS [14] funktioniert. Zu dieser Gruppe gehören auch Modelle, die eine kostenpflichtige Lizenz benötigen. Je nach Nutzergruppe (z. B. Universitäten oder Forschungsinstitutionen in Entwicklungsländern) werden diese Lizenzen auch kostenfrei vergeben wie bspw. für LEAP [9].

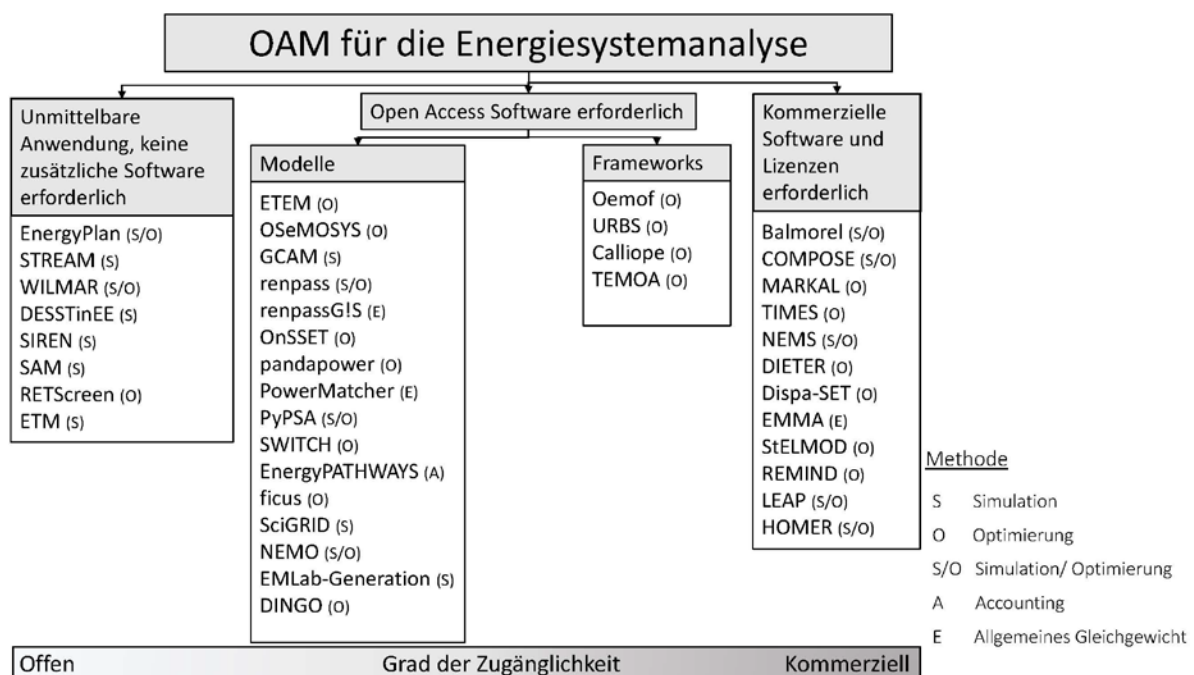


Abbildung 2: Typisierung der OAM anhand deren Zugänglichkeit (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 2 zeigt, dass Modelle mit der höchsten Zugänglichkeit tendenziell Simulationsmodelle sind. Im Gegensatz dazu wenden alle OA-Frameworks die Optimierungsmethode an. OAMs, die zusätzliche Software benötigen, sind ebenfalls überwiegend Optimierungsmodelle, wobei manche Entwickler die Optimierung mit einer Simulation kombinieren. Es ist zu beachten, dass diese grundlegenden Aussagen durch die

Modellauswahl bestimmt werden. Die Schlussfolgerungen können bei der Analyse einer anderen Auswahl an Modell variieren.

Im nächsten Schritt werden die in Abbildung 2 aufgeführten Modelle mithilfe verschiedener Kriterien charakterisiert, um deren methodischen Rahmen genauer zu analysieren. Es wird generell zwischen der Analyse von Transformationspfaden (bei der technologische Trajektorien auf bestimmte Treiber zurückgeführt werden können) und der Analyse eines einzelnen Zieljahres (wenn eine bestimmte Konfiguration unter eingeschränkter Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten analysiert wird) unterschieden. Darüber hinaus kann die zeitliche Granularität innerhalb der analysierten Jahre von Zeitschritten auf Stundenbasis bis zu einem Einzelwert für das gesamte Jahr variieren.

Basierend auf diesen Unterschieden können die OAMs systematisiert und verglichen werden, wie in Abbildung 3 dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass es drei OAMs gibt, die Transformationspfade auch mit stündlichen Zeitschritten analysieren. Unter Berücksichtigung des Zugänglichkeitsgrades hat nur ein Modell der höchsten Zugänglichkeitsgruppe Transformationspfade implementiert. Dieses ist RETScreen [30], welches eine Reihe von Jahren modelliert, um eine Entwicklung im Zeitablauf zu veranschaulichen. Die meisten OAMs mit dem höchsten Grad an Zugänglichkeit analysieren ein Jahr mit stündlichen Zeitschritten.

Zeitliche Auflösung

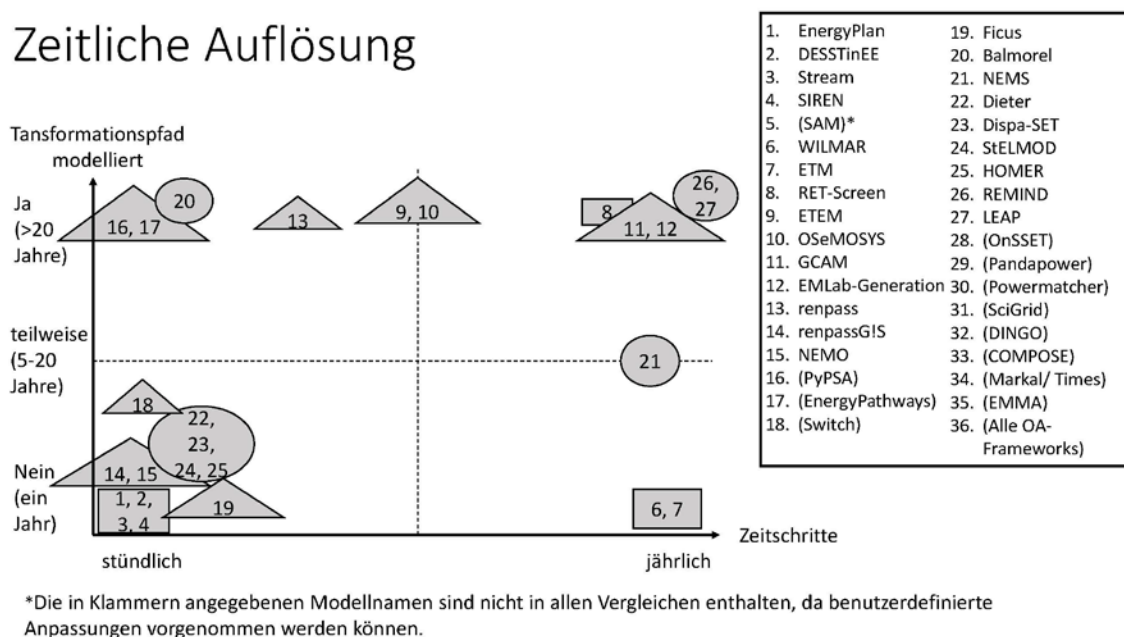


Abbildung 3: Modellvergleich anhand der zeitlichen Auflösung (Quelle: eigene Darstellung)

OAMs unterscheiden sich ebenfalls durch ihre geografische Auflösung, die von niedrig (lokal/ Städte), über mittel (ein Land) bis hoch (Welt/Kontinente) reicht, sowie durch ihre sektorale Abdeckung, die nur einen Sektor oder mehrere Sektoren beinhalten kann. Dieser Vergleich ist in Abbildung 4 dargestellt und zeigt eine hohe Vielfalt auch innerhalb der verschiedenen Gruppen der Zugänglichkeit. Betrachtet man nur den höchsten Grad der Zugänglichkeit, so wird deutlich, dass diese Modelle in der Regel eine mittlere sektorale und geografische Abdeckung aufweisen. EnergyPlan [24] hat die höchste sektorale Abdeckung im Vergleich zu den anderen OAMs und deckt fast alle Sektoren wie Strom, Wärme, Verkehr und Industrie ab. DESSTinEE [25] scheint eine der höchsten geografischen Abdeckung zu

umfassen und analysiert fast alle europäischen und nordafrikanischen Länder auf nationaler Ebene.

Geografische und sektorale Abdeckung

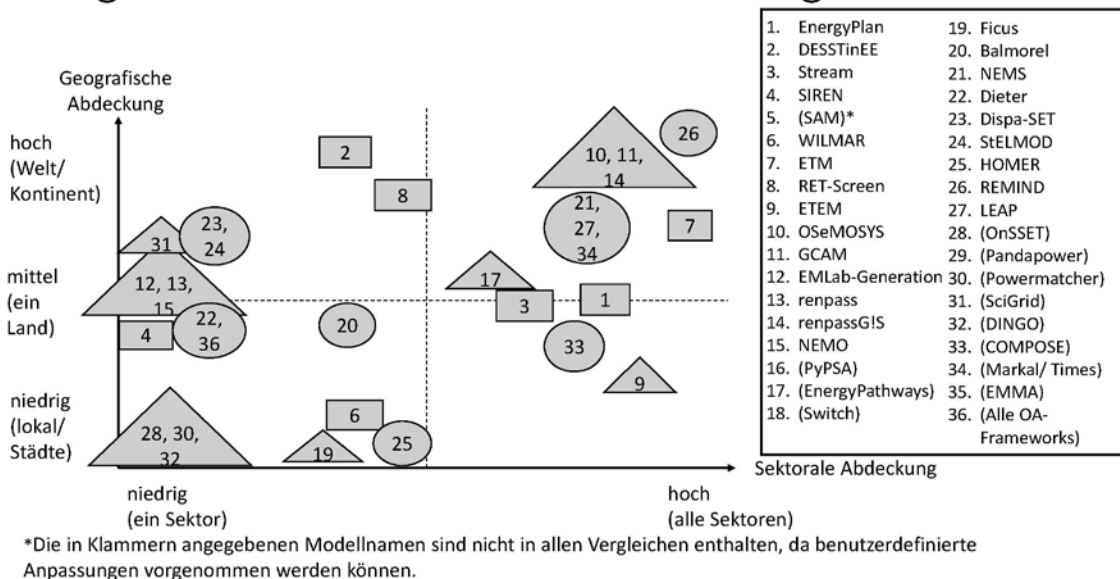


Abbildung 4: Modellvergleich nach geografischer und sektoraler Abdeckung (Quelle: eigene Darstellung)

Weitere Kriterien sind die zeitliche Auflösung, die von hoch (stündlich) bis niedrig (jährlich) reicht sowie die räumliche Granularität, die verdeutlicht, ob die Analyse auf Länderebene (niedrig) oder detaillierter (hoch) erfolgt. Abbildung 5 veranschaulicht, dass viele OAMs eine hohe zeitliche Auflösung aufweisen, während deren räumliche Granularität variiert. Dahingegen werden Modelle mit geringerer zeitlicher Auflösung eher für Systemanalysen mit geringerer räumlicher Granularität eingesetzt. Betrachtet man gut zugängliche Modelle, so zeigt sich, dass diese in der Regel eine eher geringe räumliche, aber hohe zeitliche Auflösung aufweisen.

Räumliche Granularität

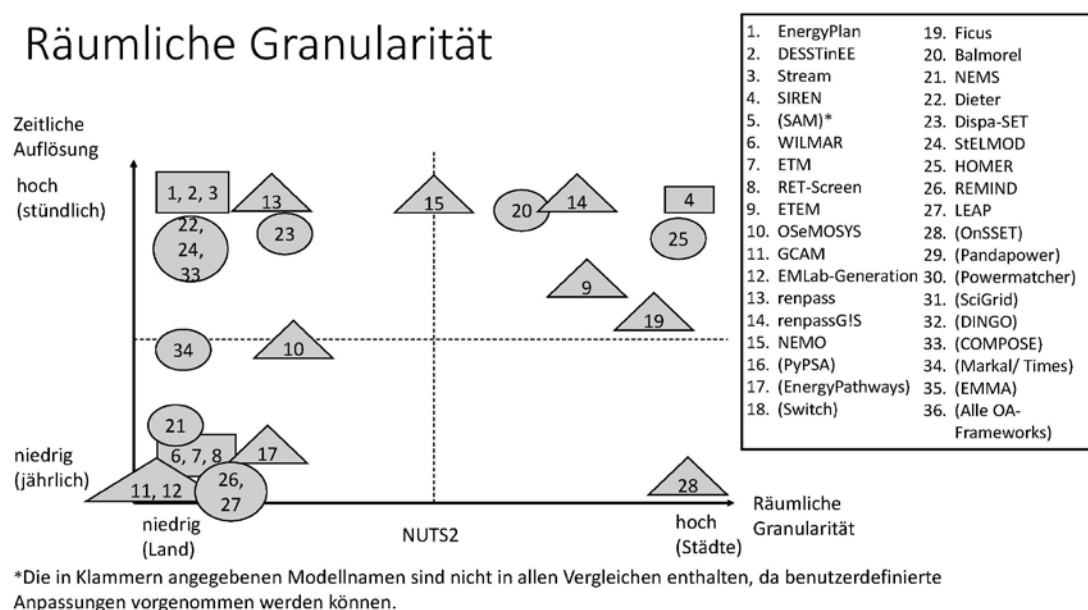
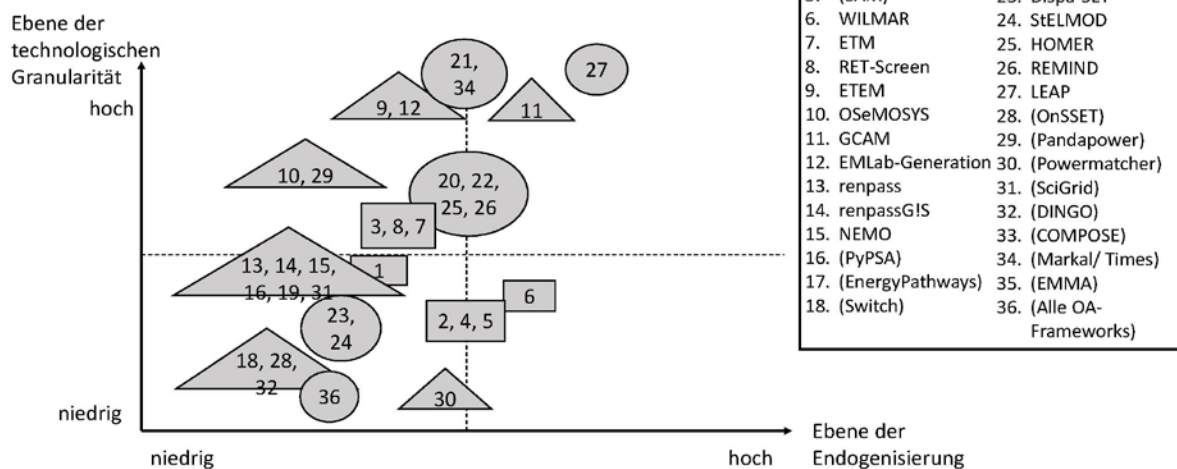


Abbildung 5: Modellvergleich anhand räumlicher Granularität (Quelle: eigene Darstellung)

Zum Schluss werden OAMs nach dem Grad der technologischen Granularität und dem Grad der Endogenisierung verglichen. Diese Kriterien stellen den Detaillierungsgrad dar, mit dem die Technologien durch das Modell abgebildet werden und inwieweit die Entscheidungsfindung durch ein bestimmtes Regelwerk oder durch einfache exogene Parameterbestimmungen dargestellt wird. Beide Kriterien werden in Abbildung 6 verglichen. Die Modelle mit dem höchsten Grad an Zugänglichkeit weisen in der Regel eine mittlere bis niedrige technologische Granularität und einen mittleren bis niedrigen Grad an Endogenisierung auf.

Technologische Granularität und Endogenisierung



*Die in Klammern angegebenen Modellnamen sind nicht in allen Vergleichen enthalten, da benutzerdefinierte Anpassungen vorgenommen werden können.

Abbildung 6: Modellvergleich anhand der technologischen Granularität und der Endogenisierung (Quelle: eigene Darstellung)

4 Schlussfolgerung

Die Analyse von 40 OAMs unterstreicht die existierende Vielfalt an Ausgestaltungsmöglichkeiten von Energiesystemmodellen. Mit der Typisierung nach dem Grad der Zugänglichkeit konnte gezeigt werden, dass es nicht möglich ist, für jeden Modelltyp spezifische methodische Schlussfolgerungen zu ziehen. Des Weiteren wurde die Bottom-up-Perspektive als der am häufigsten verwendete Ansatz identifiziert. Die Charakterisierung von OAMs verdeutlicht zudem, dass die Modelle sowohl in Bezug auf deren Grad an Endogenität als auch bei der technologischen Granularität eingeschränkt sind. Dies deutet darauf hin, dass die Komplexität von OAMs häufig geringer ist als bei kommerziellen Energiesystemmodellen. Darüber hinaus konzentrieren sich viele OAMs in ihrer Analyse auf einzelne Zieljahre und berücksichtigen die Entwicklung von Transformationspfaden nur bedingt.

Insgesamt zeigt unsere Analyse, dass die heutigen OAMs in der Lage sind, eine Vielzahl an Forschungsfragen zu beantworten. Aufgrund der methodischen und technologischen Gestaltung einiger Modelle sollten ihre Ergebnisse jedoch als indikative Ergebnisse interpretiert und nicht mit den Ergebnissen hoch entwickelter Energiesystemmodelle

gleichgesetzt werden. Kritisch ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass die Analyse durch die teilweise unvollständigen Handbücher und Beschreibungen der Modelle erschwert wurde.

Trotz der diskutierten Restriktionen sind die analysierten OAMs in der Lage, heutige Energieszenarien zu bewerten, allerdings basierend auf vereinfachten Methoden und Ansätzen, die im Vergleich zu Modellen von akademischen Institutionen und Beratungsunternehmen heutzutage kommerziell eingesetzt werden. Unter Berücksichtigung des Entwicklungszeitraums der Open-Access-Bewegung wird deutlich, dass OAMs noch am Anfang ihrer Entwicklungsphase stehen, während kommerzielle Modelle bereits breit im Markt etabliert sind. Daher liegt es auf der Hand, dass diese OAMs in der Regel weniger ausgereift sind gegenüber verfügbaren kommerziellen Modellen. OAMs sind jedoch auf dem besten Weg, um eine konkurrierende Modelltiefe zu erreichen und darüber hinaus noch ein wesentlich höheres Maß an Transparenz zu gewährleisten.

Da die Open-Access-Bewegung durch eine sehr dynamische Entwicklung gekennzeichnet ist, sind die Ergebnisse dieser Untersuchung als Momentaufnahme zu interpretieren. Die Nachfrage nach anspruchsvolleren OAMs sowie die Diskussion über bestimmte Standards für die Dokumentation sind bereits heute sichtbar und werden in Zukunft zu einer breiteren Anwendung von OAMs führen. Zudem ist hervorzuheben, dass die Durchführung einer Energiesystemanalyse grundlegende Kenntnisse der Energiewirtschaft und der Energietechnik erfordert und sich nicht auf die Anwendung eines Modells beschränkt. Ein einfacher Zugang zu leistungsfähigen OAMs birgt daher immer auch das Risiko grundlegender Fehlinterpretationen von Ergebnissen.

Literatur

- [1] UNFCCC, "UNFCCC: Paris Agreement," 2014. [Online]. Verfügbar unter: http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [2] BMUB, "Klimaschutzplan 2050" 11/11/2016. [Online]. Verfügbar unter: http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/klimaschutzplan-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=5. [Zuletzt geprüft am 26/09/2017].
- [3] S. Pfenninger, J. DeCarolis, L. Hirth, S. Quoilin and I. Staffell, "The importance of open data and software: Is energy research lagging behind?" Energy Policy, Vol. 101, S. 211-215, 02/12/2016.
- [4] G. Giannakidis, M. Labriet, B. Ó. Gallachóir and G. Tosato, Informing Energy and Climate Policies Using Energy Systems Models, Volume 30, Ed., Switzerland: Springer International Publishing AG, S. 5, 6, 7, 2015.
- [5] R. Behn and S. Byfield, "Acatech: Consulting with energy scenarios," 2016. [Online]. Verfügbar unter: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/ESYS_Position_Paper_Energy_scenarios.pdf. [Zuletzt geprüft am 05/09/2017].
- [6] S. Pfenninger, A. Hawkes and J. Keirstead, "Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 33, S. 74-86, 20/02/2014.
- [7] OECD/IEA, "History," 2017. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/about/history/>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [8] E3MLab/ ICCS, "European Commission: Modelling tools for EU analysis - PRIMES Model," 2014. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/analysis/models/docs/primes_model_2013-2014_en.pdf. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [9] C. Heaps, Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system, S. E. Institute, Ed., Somerville, 2016.
- [10] A. Herbst, F. Toro, F. Reitze and E. Jochem, "Introduction to Energy System Modelling," Swiss Journal of Economics and Statistics (SJES), vol. 2, S. 111-135, 2012.
- [11] U. P. Mueller, L. Wienholt, D. Kleinhans, I. Cussmann, W.-D. Bunke, G. Pleßmann and J. Wendiggensen, "The eGo grid model: An open source approach towards a model of German high and extra-high voltage power grids," Journal of Physics: Conference Series, S. 1-16, 2018.
- [12] R. Morrison, "Energy system modeling: Public transparency, scientific reproducibility, and open development," Energy Strategy Reviews, S. 49-63, 29/12/2017.
- [13] Openmod, "Openmod - Open Energy Modelling Initiative," [Online]. Verfügbar unter: <http://openmod-initiative.org/>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [14] GAMS, "An Introduction to GAMS," [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gams.com/products/introduction/>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].

- [15] B. Müller, J. Weibezahn, F. Wiese, "Energy Modelling - A quest for a more open and transparent approach," *European Energy Journal*, vol. 8, S. 18-24, 2018
- [16] D. Connolly, H. Lund, B. Mathiesen and M. Leahy, "A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems," *Applied Energy*, Vol. 87, S. 1059-1082, 2010.
- [17] L. M. Hall and A. R. Buckley, "A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation," *Applied Energy*, Vol. 169, S. 607-628, 23/02/2016.
- [18] S. Pfenninger, L. Hirth, I. Schlecht, E. Schmid, F. Wiese, T. Brown, C. Davis, M. Gidden, H. Heinrichs, C. Heuberger, S. Hilpert, U. Krien, C. Matke, A. Nebel, R. Morrison and B. Müller, "Opening the black box of energy modelling: Strategies and lessons learned," *Energy Strategy Reviews*, vol. 19, S. 63-71, 2017.
- [19] S. Oberle, R. Elsland "Are Open Access Models able to assess today's energy scenarios?," *Energy Strategy Reviews*, submitted but not published yet, 2019.
- [20] R. Elsland, *Development of an integrated modelling concept to capture technological myopia*, Nomos Verlag, Karlsruhe, 2015.
- [21] IEA, *Mapping the Energy Future - Energy modelling and climate change policy*, Paris, France: OECD/IEA, Stuttgart, 1998.
- [22] C. Schlenzig, *PlaNet: Ein entscheidungsunterstützendes System für die Energie- und Umweltplanung*, Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, 1998.
- [23] K.-K. Cao, F. Cebulla, J. J Gómez Vilchez, B. Mousavi and S. Prehofer, "Rising awareness in model-based energy scenario studies - a transparency checklist," *Energy, Sustainability and Society*, Vol. 6, Nr. 1, S. 1-20, 28/9/2016.
- [24] Aalborg University, "EnergyPlan," 2015. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.energyplan.eu/>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [25] I. Staffell and R. Green, "DESSTinEE Model," 23/07/2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://sites.google.com/site/2050desstinee/>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [26] oemof-Team, "oemof - open energy modelling framework," 2014. [Online]. Verfügbar unter: <https://oemof.org>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [27] OSeMOSYS, "OSeMOSYS," 2017. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.osemosys.org/get-started.html>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [28] A. Makhorin, "GLPK (GNU Linear Programming Kit)," 23/06/2012. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gnu.org/software/glpk/>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [29] The Balmorel Open Source Project, "Balmorel," 2017. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.balmorel.com/>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].
- [30] National Resources Canada, "RETSscreen," 2017. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>. [Zuletzt geprüft am 10/01/2019].