

Same Same but Different? - Machine Learning Algorithmen zur Indikatoren basierten Regionenbildung

Modellierung

Thomas ZIPPERLE ¹⁽¹⁾, Clara ORTHOFER ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik

Motivation und zentrale Fragestellung

In einer immer enger vernetzten Welt, gewinnen globale Energiesystemmodelle zunehmend an Bedeutung. Denn, international begründete Handlungsoptionen und deren globale Auswirkungen auf Mensch und Umwelt können in alleinstehenden Nationalstaatenmodellen nicht adäquat abgebildet werden. Globale Energiesystemmodelle welche in der Lage sind diese globalen Rückkopplungseffekte abzubilden, fassen Nationalstaaten in der Regel zu Metaregionen zusammen. Bisher werden diese Metaregionen auf Basis der historischen Energieverbrauchsstruktur sowie der geographischen Lage der Länder gebildet (z.B. [3,4,6]). Um zukünftig relevante Metaregionen zu identifizieren erweitern wir diesen Ansatz um eine Clusteranalyse auf Basis von Länderdaten zu erneuerbaren, (un-)konventionellen fossilen Energieressourcen, energiewirtschaftlichen Veränderungspotentialen sowie zu wichtigen makroökonomischen Parametern.

Methodische Vorgangsweise

Traditionell werden in der Energiesystemmodellierung Regionen basierend auf ihrer geographischen (z.B. „Afrika“ / „Sub-Sahara Afrika“ [1-6]) beziehungsweise politisch-historischen Zusammengehörigkeit (z.B. „Former Soviet Union“ [1-4, 6]) zusammengefasst (Tabelle 1). Um die in Zukunft dominanten Entwicklungen abzubilden, wären jedoch Metaregionen auf Basis vorhandener Energieressourcen zu bevorzugen, da zu erwarten ist, dass die langfristigen Entwicklungen der Regionen zwar von der Energiehistorie beeinflusst, aber schlussendlich von den Energiepotentialen limitiert sind.

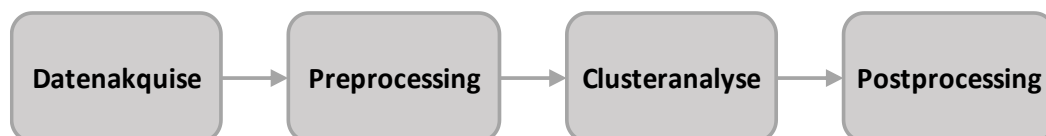


Abbildung 1: Ablaufdiagramm der Clusteranalyse zur Bildung neuer Metaregionen

Basierend auf online verfügbar Datensätzen zu Energiebereitstellung, -verbrauch und –handel, zu den erneuerbaren Energiepotentialen, zu den konventionellen und unkonventionellen fossilen Ressourcen und Reserven sowie zu den wichtigsten makroökonomischen Parametern wird eine Datenbank aufgesetzt (Tabelle 2). Die gesammelten Daten werden anschließend auf Konsistenz überprüft und eventuelle Datenlücken werden durch Extrapolation aufgefüllt. Danach werden die relevanten Parameter für die Modellfragestellung ausgewählt und auf die Clusteranalyse mittels Normierung oder Reskalierung vorbereitet. Um das Ergebnis der Clusteranalyse zu verbessern werden die ausgewählten Parameter auf Interdependenzen überprüft, und überflüssige Parameter aus dem Eingangsdatensatz entfernt. Die aufbereiteten Daten können mittels partitionierende (z.B. k-Means), hierarchischen und dichte-basierte (z.B. DBSCAN) Verfahren geclustert werden. Abschließend werden die Clusterergebnisse in Form von Landkarten aufbereitet um die Interpretation der Cluster zu ermöglichen und die Auswahl der für die Forschungsfrage geeignetsten Cluster zu erleichtern.

¹ Jungautor: Arcisstraße 21, 80333 München, +49 (89) 289 - 23948, thomas.zipperle@tum.de, <https://www.ewk.ei.tum.de/en/personen/wissenschaftlich/thomas-zipperle/>

Tabelle 1: Übersicht der Regionen der meistgenutzten globalen Energiesystemmodelle

Modell	Version	Anzahl an Regionen	Quelle	Regionen
TIMES -TIAM	UCL	16	[1]	Africa, Australia, Canada, Central and South America, China, Eastern Europe, <i>Former Soviet Union</i> , India, Japan, Mexico, Middle-East, Other Developing Asia, So-Korea, United Kingdom, USA, Western Europe
	NZ	16	[2]	Africa, Australia, New-Zealand, Canada, Central and South America, China, Eastern Europe, <i>Former Soviet Union</i> , India, Japan, Mexico, Middle-East, Other Developing Asia, So-Korea, USA, Western Europe
	ETSAP	15	[3]	Africa, Australia, Canada, Central and South America, China, Eastern Europe, <i>Former Soviet Union</i> , India, Japan, Mexico, Middle-East, Other Developing Asia, So-Korea, USA, Western Europe
OSeMOSYS	GENeSYS-MOD	10	[4]	Africa, China, Europe, <i>Former Soviet Union</i> , India, Middle East, North America, Oceania, Rest of Asia and South America
POLES	JRC	66	[5]	Argentina, Austria, Australia, Belgium, Brazil, Bulgaria, Canada, Croatia, Chile, Cyprus, China, Czech, Republic, Egypt, Denmark, Iceland, Estonia, India, Finland, Indonesia, France, Iran, Germany, Japan, Greece, Malaysia, Hungary, Mexico, Ireland, New, Zealand, Italy, Norway, Latvia, Russia, Lithuania, Saudi, Arabia, Luxembourg, South, Africa, Malta, South, Korea, Netherlands, Switzerland, Poland, Thailand, Portugal, Turkey, Romania, Ukraine, Slovakia, United, States, Slovenia, Vietnam, Spain, Sweden, United, Kingdom
				Rest Central America, Rest South America, Rest Balkans, <i>Rest CIS</i> , Mediter. Middle East, Rest of Persian Gulf, Morocco and Tunisia, Algeria and Libya, <i>Rest Sub-Saharan Africa</i> , Rest South Asia, Rest South East Asia, Rest Pacific
MESSAGE		11	[6]	<i>Sub-Saharan Africa</i> , Centrally planned Asia and China, Central and Eastern Europe, <i>Former Soviet Union</i> , Latin America and the Caribbean, Middle East and North Africa, North America, Pacific OECD, Other Pacific Asia, South Asia, Western Europe

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Für eine friedliche Welt und Abschätzung möglicher zukünftiger Entwicklungen ist es wichtig die internationalen Zusammenhänge im globalen Kontext zu modellieren. Dabei geht zwangsläufig eine gewisse Detailschärfe verloren. Diese Unschärfe kann aber durch eine geschickte und auf die konkrete Fragestellung angepasste Clusterung von Ländern zu Metaregionen ausgeglichen werden. Daher präsentieren wir eine Methode zur Bildung von Metaregionen auf Basis dynamisch adaptierbarer Parameter, welche entsprechend der wissenschaftlichen Fragestellung angepasst werden kann. Zur Bildung und Evaluation der Regionen werden dabei Methoden des Machine Learnings auf eine strukturierte Energiedatenbank angewandt.

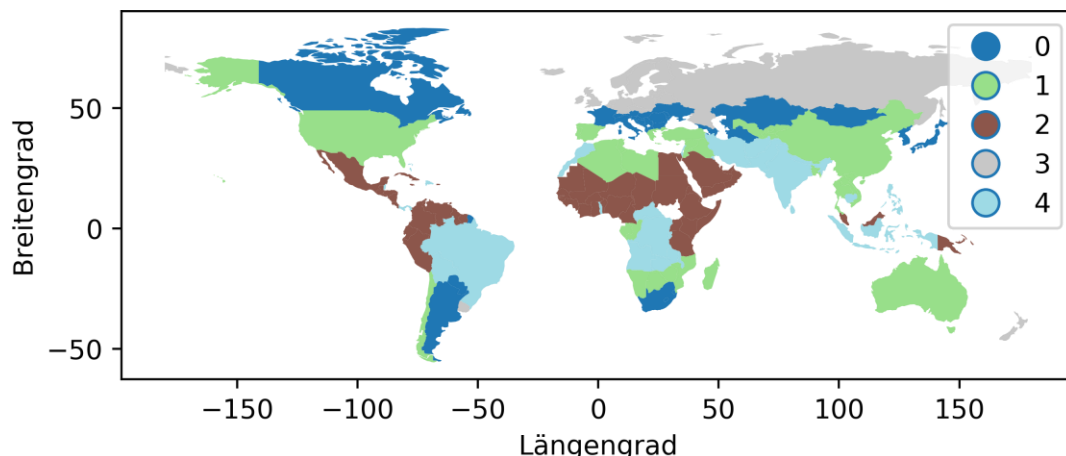


Abbildung 2: Clusterbildung mittels DBSCAN auf Basis des gemittelten flächenbezogenen Solarenergiepotentials

Erste Analyseergebnisse zeigen bereits, dass regional zusammenhängende Metaregionen für entsprechende Betrachtungen auch auf Basis der parametergetriebenen Clusterung zielführend erscheinen. Jedoch weisen die vorläufigen Ergebnisse auch darauf hin, dass das Aufteilen der auf Basis geografischer Nähe gebildeter Metaregionen in transkontinentale „Superregionen“ für gewisse Fragenstellungen die Aussagekraft der Modellergebnisse stärken könnte (*Abbildung 1*).

Eine bisher unüberprüfte weitere Anwendung unserer dynamischen datengetriebenen Clusteranalyse sehen wir in der Übertragbarkeit von Modellergebnissen zwischen Ländern oder Regionen. So könnten über die beschriebene Methodik Länder bzw. Regionen identifiziert werden, deren Entwicklungspotential aber auch Historie ähnlich genug erscheinen um aus regional entwickelten Forschungsergebnissen Rückschlüsse auf andere Länder des Clusters ableiten zu können.

Tabelle 2: Quellenzuordnung der Eingangsdaten für die Clusteranalyse

Parameter		Quellen
Energieressourcen	Solar - PV	[15]
	Solar - CSP	[15]
	Solar - thermal	tbd
	Wind – onshore	[11]
	Wind – offshore	[11,12]
	Biomasse	[20]
	Geothermie	tbd
	Wasserkraft – Laufwasser	[21]
	Wasserkraft – Pumpspeicher	[21]
	Kohle	[8]
	Erdöl	[8]
	Erdgas	[8]
	Unkonventionelles Gas	[17, 18]
Unkonventionelles Erdöl	[18]	
Lastgänge	Solar	[19]
	Wind	[19]
	Temperatur	[19]
Energiebilanzen	Primärenergieverbrauch (fossil)	[8]
	Import/Export Saldo	[6,14]
	Transformationseffizienz (fossil)	[8]
	Endenergieverbrauch (fossil)	[8]
	Primärenergieverbrauch (erneuerbar)	[7,8]
	Transformationseffizienz (erneuerbar)	[7]
Endenergieverbrauch (erneuerbar)	[7,8]	
Installierte Kapazitäten	Kraftwerke (konventionell)	[9]
	Kraftwerke (erneuerbar)	[7,8,9,14]
Emissionen	Treibhausgas-Emissionsbilanzen	[6,8,13]
	UNFCCC-NDCs	[10]
Makroökonomische Parameter	Bruttoinlandsprodukt	[6]
	Bevölkerungsentwicklung	[6]
	HDI / GINI Index	[6]
	Bevölkerungsdichte	[6]
	Gesellschaftliche Strukturentwicklung	[6]

Literatur

- [1] Anandarajah, G., Pye, S., Usher, W., Kesicki, F. & McGlade, C. E. TIAM-UCL Global Model Documentation. <http://www.ucl.ac.uk/energy-models/models/tiam-ucl/tiam-ucl-manual> (University College London, 2011)
- [2] Loulou, Richard & Labriet, Maryse ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model Part I: Model structure. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10287-007-0046-z.pdf> (Springer-Verlag, 2007)
- [3] Vaillancourt, Kathleen, Labriet, Maryse, Loulou, Richard, Waaub, Jean-Philippe The Role of Nuclear Energy in Long-Term Climate Scenarios: An Analysis with the World-TIMES Model. https://iea-etsap.org/TIAM_f4_Nucleaire_EnergyPolicy_ORMMES06.pdf (Les Cahiers du GERAD, 2007)
- [4] Löffler, Konstantin, Hainsch, Karlo, Burandt, Thorsten, Oei, Pao-Yu, Kemfert, Claudia & von Hirschhausen, Christian Designing a Model for the Global Energy System—GENeSYS-MOD: An Application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS) (Energies (10), 2017)
- [5] Keramidis, K., Kitous, A., Després, J., Schmitz, A., POLES-JRC model documentation. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC107387/kjna28728enn.pdf> (JRC Technical Reports, 2017)
- [6] The World Bank (WB), World Indicators. <https://data.worldbank.org/indicator> (2018)
- [7] International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Energy Dashboard. <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/> (2018)
- [8] British Petroleum (BP), Statistical Review of World Energy 2017. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (2017)
- [9] Global Energy Observatory, Google, KTH Royal Institute of Technology in Stockholm, Enipedia, World Resources Institute. Global Power Plant Database. Published on Resource Watch and Google Earth Engine. <http://resourcewatch.org/> & <https://earthengine.google.com/> (2018)
- [10] World Resources Institute (WRI) and CAIT Climate Data Explorer, CAIT Paris Contributions Map. <http://cait.wri.org/indcs/> (2018)
- [11] National Renewable Energy Laboratory, Global CFDDA-based Onshore and Offshore Wind Potential Supply Curves by Country, Class, and Depth (quantities in GW and PWh). <https://openei.org/datasets/dataset/global-cfdda-based-onshore-and-offshore-wind-potential-supply-curves-by-country-class-and-depth-q> (2018)
- [12] National Renewable Energy Laboratory, Offshore Wind Resource. <https://openei.org/datasets/dataset/offshore-wind-resource> (2018)
- [13] World Resources Institute (WRI), CAIT Climate Data Explorer, Climate Analysis Indicators Tool: WRI's Climate Data Explorer. <http://datasets.wri.org/dataset/cait-unfccc-annex-i-ghg-emissions-data> (2013)
- [14] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), BGR Energiestudie 2017. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Produkte/energiestudie2017_Zusammenfassung.htm?nn=1542226 (2017)
- [15] Pietzcker, R. C., Stetter, D., Manger, S., Luderer, G., Using the sun to decarbonize the power sector: The economic potential of photovoltaics and concentrating solar power. (Applied Energy 135, 704–720. 2014)
- [16] World Energy Council, World Energy Resources 2016 <https://www.worldenergy.org/publications/2016/world-energy-resources-2016/> (2016)
- [17] U.S. Energy Information Agency (eia), World Shale Resource Assessments. <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/> (2015)
- [18] Hongjun WANG, Feng MA, Xiaoguang TONG, Zuodong LIU, Xinshun ZHANG, Zhenzhen WU, Denghua LI, Bo WANG, Yinfu XIE, Liuyan YANG, Assessment of global unconventional oil and gas resources. (Petroleum Exploration and Development, 43, 6, 925-940, 2016)
- [19] National Aeronautics and Space Administration (NASA), Global Modeling and Assimilation Office: Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications (MERRA). <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA/> (2018)
- [20] Moreira, José Roberto, Global Biomass Energy Potential. (Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11, 2, 13–342, 2006)
- [21] World Energy Council (WEC), World Energy Resources Hydropower 2016, https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Hydropower_2016.pdf (2016)