

Jade Hochschule, Oldenburg; DLR, Institut für Vernetzte Energiesysteme, Oldenburg

# INTEGRATION VON ENERGIESYSTEMOPTIMIERUNG IN DIE GEODATENBASIERTE ENERGIELEITPLANUNG

Moritz Elbeshausen, Jan Buschmann, Mareike Fincken, Karl-Kiên Cao, Sascha Koch

**Zusammenfassung:** Die Erreichung der Klimaschutzziele erfordert eine präzise Prognose des künftigen Energiebedarfs und dessen Deckung durch erneuerbare Energien. Dafür sind fundierte Entscheidungsgrundlagen in Landkreisen und Kommunen notwendig. Räumliche Analysen, wie die geodatenbasierte Energieleitplanung sowie Szenarien aus Energiesystem-Optimierungsmodellen, bieten hierfür wichtige Unterstützung. Der Beitrag stellt einen Ansatz vor, der diese Modelle in eine Geodatenanalyse-Anwendung integriert. Ein Proof of Concept mit einem Business-Intelligence-Werkzeug zeigt am Beispiel des Landkreises Wesermarsch, wie interaktive Dashboards fundierte, intuitive Entscheidungen ermöglichen und regionale Akteure bei nachhaltigen, langfristigen Klimaschutzmaßnahmen unterstützen.

**Schlüsselwörter:** Energieleitplanung, Energiesystemoptimierung, Geodaten, Dashboards, REMix, Szenarien

## INTEGRATION OF ENERGY SYSTEM OPTIMIZATION INTO GEO DATA BASED ENERGY PLANNING

**Abstract:** Achieving climate protection goals requires accurate forecasts of future energy demand and how it will be met by renewable energies. This requires sound decision-making bases in counties and municipalities. Spatial analyses such as geodata-based energy master planning and scenarios from energy system optimization models provide important support in this regard. This article presents an approach that integrates these models into a geodata analysis application. A proof of concept using a business intelligence tool shows, using the example of the Wesermarsch district, how interactive dashboards enable well-founded, intuitive decisions and support regional actors in sustainable, long-term climate protection measures.

**Keywords:** Energy planning, energy system optimization, geo data, dashboards, REMix, scenarios

### 1 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Die angestrebte Klimaneutralität erfordert eine umfassende Transformation der Energieversorgung auf regionaler Ebene. Für die Energieplanung eines Landkreises spielen Geodaten eine zentrale Rolle. Sie liefern einen umfassenden Einblick in z. B. Siedlungsstruktur, Energieinfrastruktur, Erzeugungspotenziale und Flächenkonflikte und bieten entscheidende Vorteile bei der Planung von z. B. Energieerzeugungsanlagen zur klimaneutralen Deckung der zukünftigen Energiebedarfe. Auch regionale sektorenübergreifende Synergien und die Interessen von Akteuren der Energieleitplanung müssen berücksichtigt werden (Wietschel et al. 2019). So können Kreisverwaltungen bei der Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen und der Erfüllung von Ausbauzielen unterstützt werden, indem z. B. Standortentscheidungen getroffen werden können (Kroon 2020). Zur effizienten Planung von z. B. Klimaschutzmaßnahmen müssen Transformationsstrategien entwickelt und Szenarien für das zukünftige Energiesystem aufgestellt werden. Energiesystem-Optimierungsmodelle bieten die Möglichkeit, Szenario-Analysen in die geodatenbasierte Energieleitplanung zu integrieren. Diese sogenannten Energiesystemmodelle berücksichtigen in der Regel

eine Vielzahl von Technologien zur Energieumwandlung, -speicherung und -transport und können hierfür geographisch als auch zeitlich aufgelöste Informationen bereitstellen (Hoffmann et al. 2024). Prototypisch sollen beide Methoden integriert werden, um Geodaten und Energieszenarien in Dashboards darzustellen, damit Entscheidungsträger Szenarien durchspielen und Auswirkungen von Maßnahmen für datenbasierte Entscheidungen bewerten können (Bill et al. 2022). Interaktive Werkzeuge zur Raumplanung können dabei wesentlich zur Entscheidungsunterstützung im Energiesektor beitragen (Kaden 2017). Die Aufbereitung der Ergebnisse ist besonders relevant für strategische Entscheidungen und ermöglicht es, Szenarien für das Energiesystem räumlich einzuordnen. Durch die Aggregation und Systematisierung von Geodaten in Business-Intelligence-Werkzeuge auf Dashboards können Akteure komplexe Zusammenhänge mit geringem Aufwand visualisieren und analysieren, um fundierte Entscheidungen zu treffen (Bill et al. 2022, Mauthner et al. 2018, Sanabria-Lizarraga et al. 2024).

**Autoren**

M. Sc. Moritz Elbeshausen  
 M. Sc. Mareike Fincken  
 Prof. Dr. Sascha Koch  
 Jade Hochschule  
 Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG)  
 Ofener Straße 16/19  
 D-26121 Oldenburg  
 E: moritz.elbeshausen@jade-hs.de | ORCID: 0000-0003-0109-892X  
 mareike.fincken@jade-hs.de | ORCID: 0009-0004-3256-3817  
 sascha.koch@jade-hs.de | ORCID: 0000-0003-4352-1917

M. Sc. Jan Buschmann  
 Dr. Karl-Kiên Cao  
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
 Institut für Vernetzte Energiesysteme  
 Carl-von-Ossietzky-Straße 15  
 D-26129 Oldenburg  
 E: jan.buschmann@dlr.de | ORCID: 0009-0002-8626-8413  
 karl-kien.cao@dlr.de | ORCID: 0000-0002-9720-0337

**2 KONZEPTIONELLE GRUNDLAGEN**

**2.1 GEODATENBASIERTE ENERGIELEITPLANUNG**

Geodatenbasierte Energieleitplanung beschreibt den Ansatz zur strategischen Planung des Energiesystems unter Einsatz von räumlichen Daten. Geodaten werden genutzt, um Potenziale für erneuerbare Energien zu identifizieren, zu analysieren und zu visualisieren. Die Kernaspekte umfassen z. B. die Analyse von Erzeugungspotenzialen sowie der Bedarfs- und Verbrauchssituation mithilfe von Analysemodellen auf räumlicher Ebene (Schnabel et al. 2024). Die Betrachtung verschiedener Sektoren, wie Strom, Wärme und Verkehr, ermöglicht eine umfängliche Planung für Technologien und Maßnahmen durch den Einsatz von Geodaten.

Um Aussagen über die zukünftige Versorgungsstruktur treffen zu können, sind Daten über die aktuelle Bestandssituation nötig (Schnabel et al. 2022). Durch die räumlichen Zusammenhänge von Energieerzeugungsanlagen und dem unmittelbaren Bedarf an Flächen braucht es im Zuge der Energieleitplanung geeignete Werkzeuge zur Analyse und Darstellung von Geoinformationen (Mauthner et al. 2018). Interaktive Visualisierungen unterstützen Entscheidungsträger bei der Planung konkreter Maßnahmen und berücksichtigen lokale Gegebenheiten (Abbildung 1), was zu realistischen Potenzialabschätzungen führt. Akteure der Energieplanung, wie Wirtschaft und Verwaltung, steuern beispielsweise Klimaschutzmaßnahmen oder den Ausbau der Versorgungsinfrastruktur (Schnabel et al. 2022).

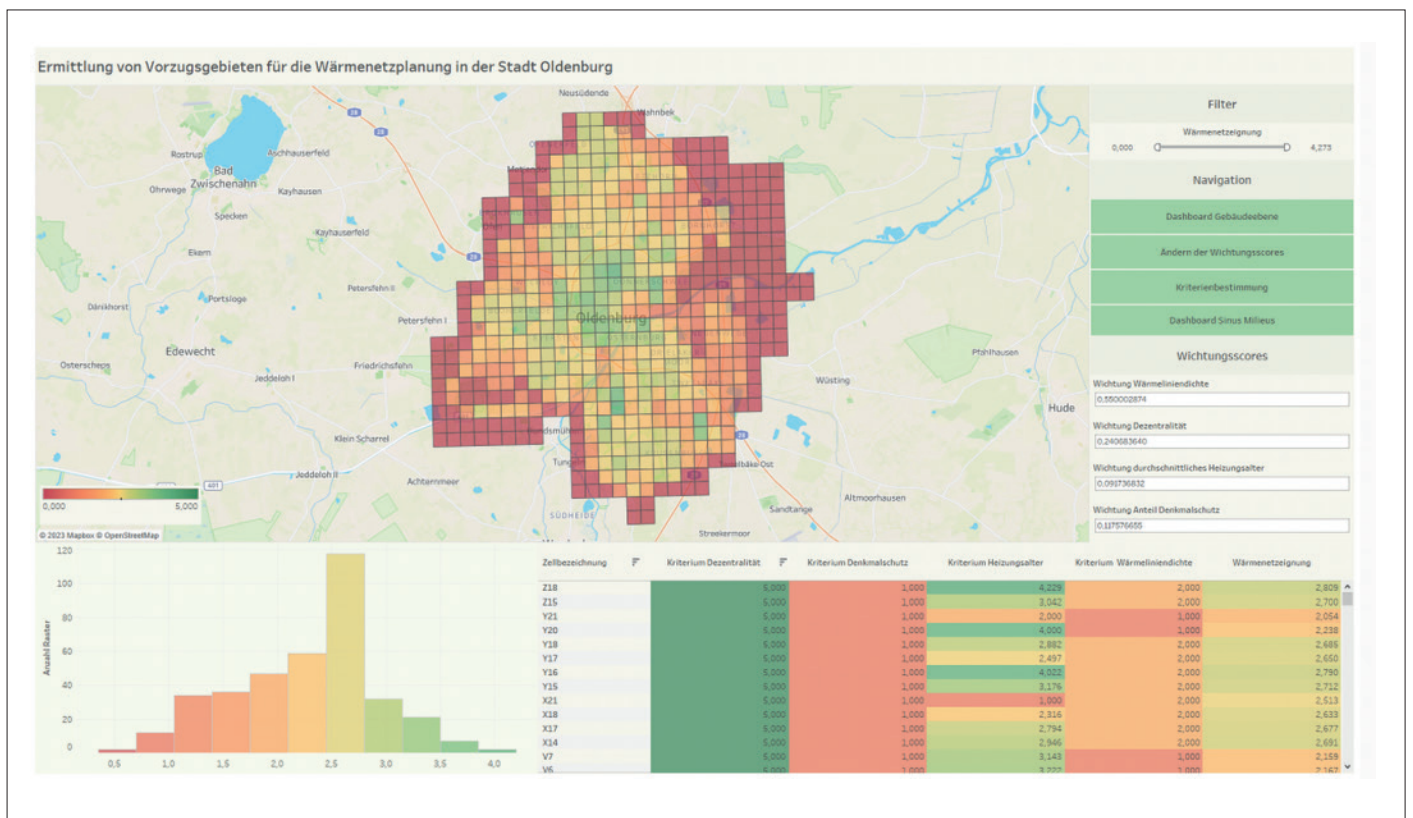


Abbildung 1: Beispiel für die Aufbereitung von Geodaten für die Energieleitplanung mit Dashboards (Schnabel et al. 2022)

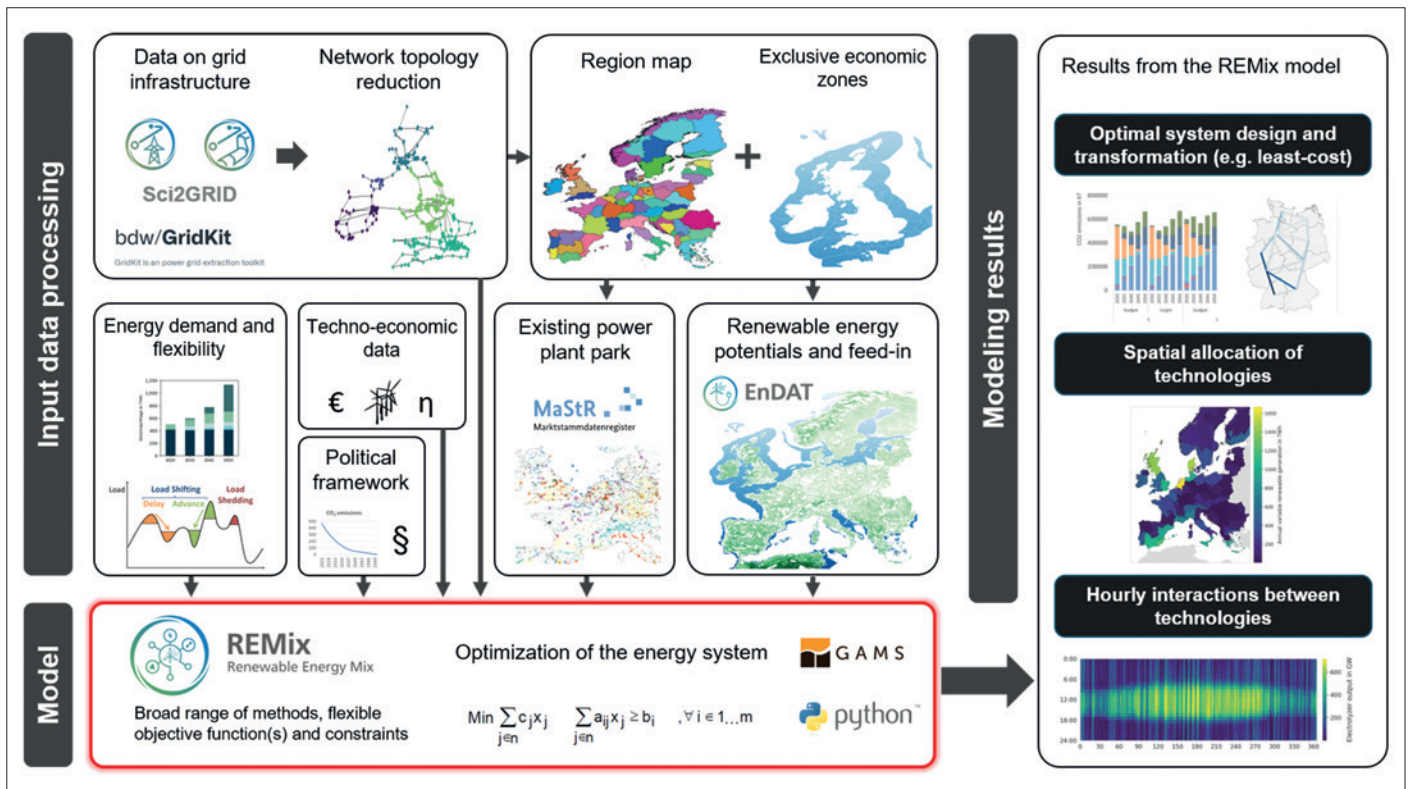


Abbildung 2: Struktur des REMix-Frameworks (mit Änderungen übernommen aus Gils et al. 2025)

## 2.2 ENERGIESYSTEMOPTIMIERUNG

REMix (Renewable Energy Mix) ist ein quelloffenes Framework des DLR zur Erstellung von Energiesystem-Optimierungsmodellen (Wetzel et al. 2024). Es ermöglicht die sektorenübergreifende Modellierung komplexer Energiesysteme und optimiert Einsatz sowie Ausbau der Energieinfrastruktur.

REMix-Modelle berücksichtigen Technologien zur Umwandlung, Speicherung und zum Transport von Energie, einschließlich erneuerbarer und konventioneller Quellen sowie Flexibilitätsoptionen wie Lastmanagement. Typische Anwendungsfälle sind Gesamt-

energiesysteme auf nationaler oder europäischer Ebene, modelliert entlang von Netz- oder Verwaltungsgrenzen. Das Framework bietet hohe Flexibilität, erlaubt Analysen mit unterschiedlicher Detailtiefe bezüglich Netz- und Technologietiefe sowie eine zeitliche Auflösung bis zur Stundenebene. Dadurch lassen sich insbesondere Schwankungen erneuerbarer Energien und deren Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit bewerten (Abbildung 2). Durch datengetriebene Parametrisierung von Energiebedarfen, Technologien, Infrastrukturen und Szenarien können Modelle spezifisch angepasst werden. REMix ist somit ein leistungsfähiges

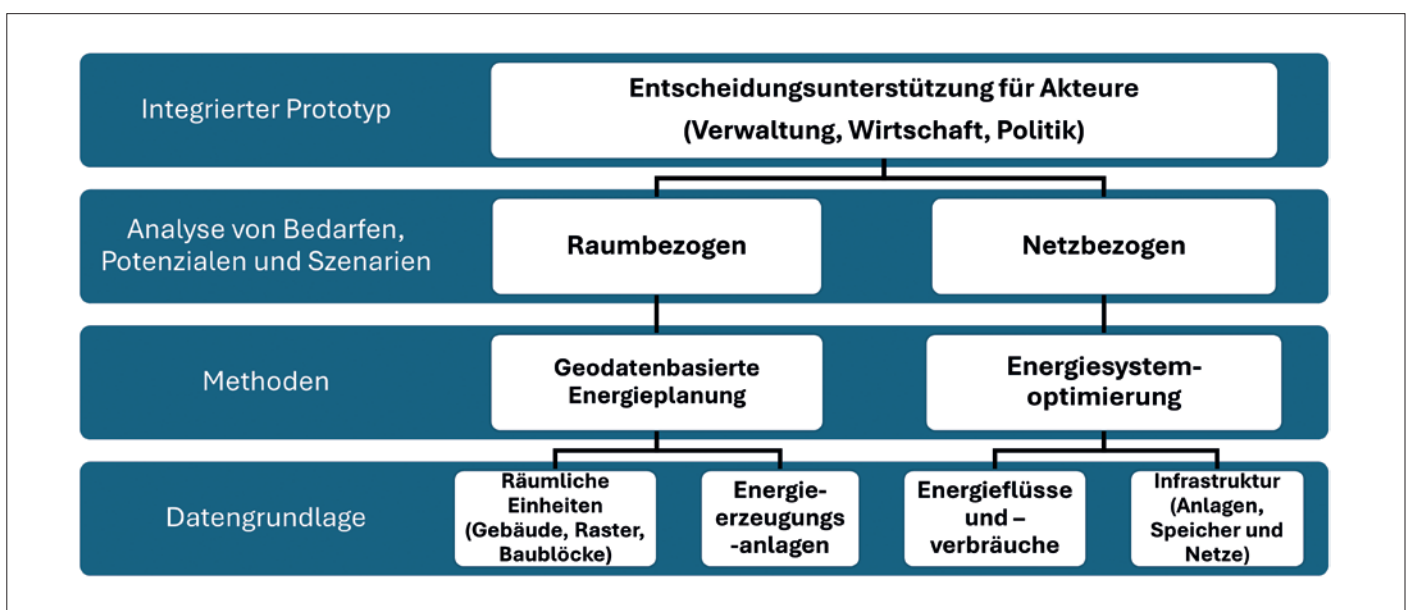


Abbildung 3: Integration von geodatenbasierter Energieleitplanung und Energiesystemoptimierung

Werkzeug zur Bewertung nachhaltiger Energieszenarien und dient als Entscheidungsunterstützung für strategische Energieleitplanung mit Fokus auf Flexibilitätsoptionen und Sektorenkopplung.

### 3 KONZEPTION DES INTEGRIERTEN ANSATZES

#### 3.1 KONZEPTBESCHREIBUNG

Um die Entscheidungen von regionalen Akteuren zu unterstützen, soll ein Konzept entwickelt werden, welches die Integration von Energiesystemoptimierung in die geodatenbasierte Energieleitplanung darstellt und in einer interaktiven Anwendung prototypisch evaluiert wird. Das Konzept basiert auf einer mehrstufigen Struktur, die von einer fundierten Datengrundlage über methodische Ansätze bis hin zu einem prototypischen Entscheidungssystem reicht (Abbildung 3). Die Datengrundlage bildet die Basis für analytische und planerische Prozesse. Aufbauend darauf werden Methoden zur Energieplanung angewandt. Dabei kommen zwei zentrale Ansätze zum Einsatz: Die geodatenbasierte Energieplanung, die räumliche Informationen zur Identifikation von Potenzialen und Bedarfen nutzt, sowie die Energiesystemoptimierung, die darauf abzielt, Energiesysteme effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Die Anwendung der Methoden umfasst die Analyse von Bedarfen, Potenzialen und Szenarien. Auf Grundlage dieser Analysen wird ein integrierter Prototyp entwickelt, der eine interaktive Entscheidungsunterstützung für relevante Akteure wie Verwaltungsbehörden, Wirtschaft und Politik bietet und eine datenbasierte Entscheidungsfindung ermöglichen soll (Sanabia-Lizarraga

et al. 2024, Bill et al. 2022). Frühere Arbeiten zur Kopplung von Geodatenmodellen mit energetischen Bewertungsverfahren von Kaden (2017) zeigen, dass webbasierte Plattformen auf Basis semantischer 3D-Stadtmodelle bereits erfolgreich zur energetischen Analyse einzelner Gebäude eingesetzt werden können. Der hier vorgestellte Ansatz erweitert dieses Prinzip auf eine systemische Ebene, indem Energiesystem-Szenarien modellübergreifend in die geodatenbasierte Energieleitplanung eingebettet werden.

#### 3.2 INTEGRIERTES DATENMODELL

Zur Umsetzung des Konzepts wurde ein Datenmodell erzeugt, welches die Ergebnisse aus der Energiesystemoptimierung in die geodatenbasierte Energieleitplanung integriert (siehe Abbildung 4). Das vorliegende Entity-Relationship-Modell (ERM) in Chen-Notation beschreibt die datenseitige Modellierung der Zusammenhänge zwischen Energieleitplanung und Energiesystemoptimierung mit der Gemeinde als zentrales Element, welches die Schnittmenge zwischen den beiden Konzepten bildet. Der Bereich geodatenbasierte Energieleitplanung umfasst alle Entitäten mit räumlichen Attributen wie Geometrien sowie Erzeugungs- und Verteilungsinfrastruktur. Da die Gemeinde die kleinste gemeinsame räumliche Verschneidungsebene in der geodatenbasierten Energieleitplanung und der Energiesystemoptimierung ist, wurde sie als zentrale Bezugsebene gewählt. Der Bereich Energiesystemoptimierung bezieht sich auf die Analyse und Optimierung von Energieflüssen. Im Unterschied zu bisherigen Modellen (Kaden 2017, Nolde et al. 2016), die primär auf die geovisuelle Darstellung oder die Berechnung spezifischer Gebäudepotenziale fokussieren, zielt das

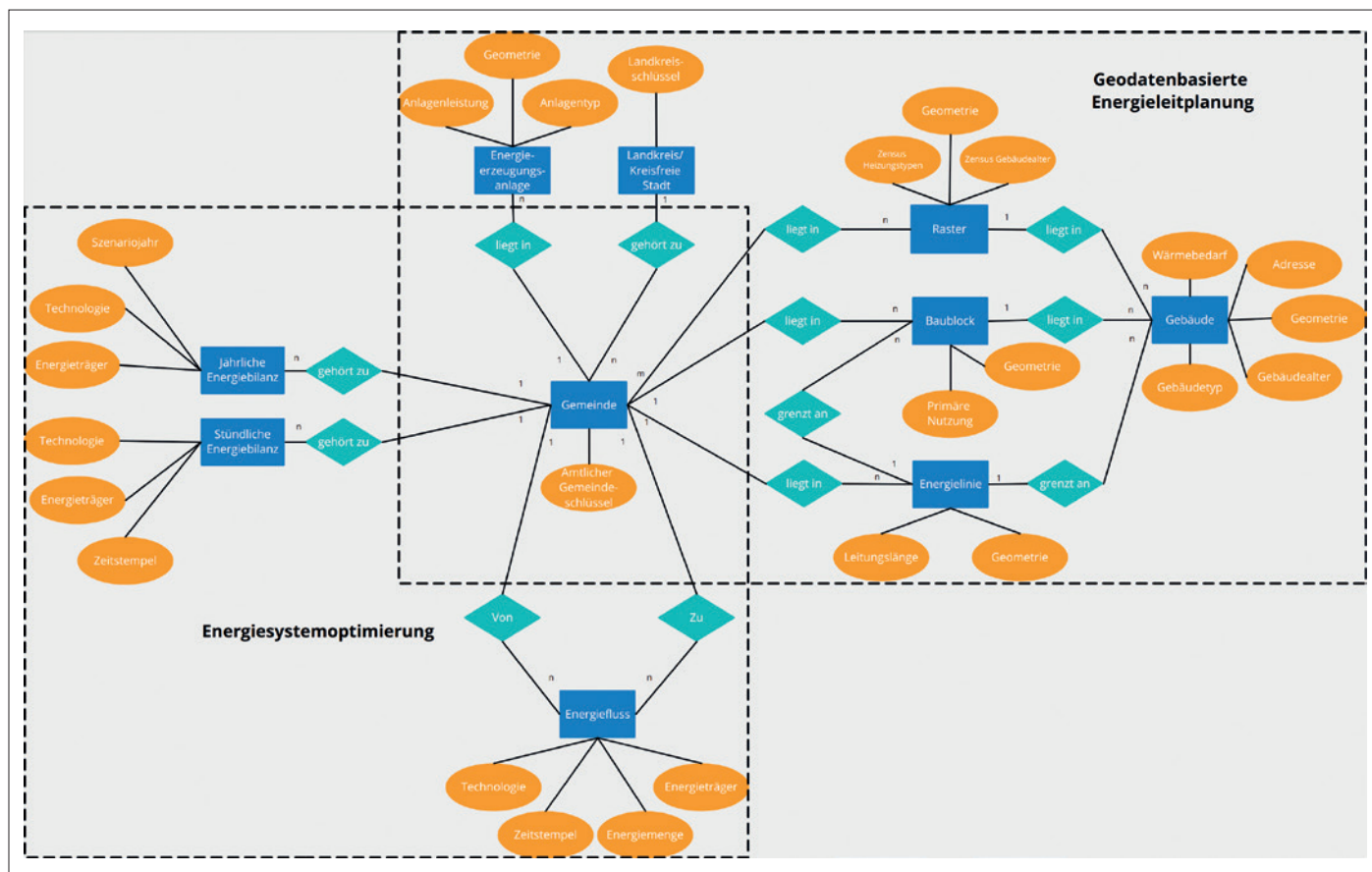


Abbildung 4: Konzeptionelles integriertes Datenmodell (Entity-Relation-Modell)

entwickelte Datenmodell auf eine dynamische Integration von Optimierungsergebnissen in die räumliche Planung ab. Damit wird eine direkte Kopplung zwischen Energieflussmodellen und räumlichen Entscheidungsebenen geschaffen.

### 3.3 DASHBOARD-KONZEPTION

Im Folgenden werden Ziele und Mehrwerte der Dashboard-Entwicklung sowie deren Umsetzung anhand eingesetzter Repräsentations- und Interaktionstechniken erläutert. Das Konzept beinhaltet

die Identifikation der Zielgruppe sowie Ziele der Konzeption und hält übergeordnete und untergeordnete Ziele für die Dashboard-Konzeption fest. Diese sollen in der Entwicklung als Ausgangspunkte genutzt werden, um Repräsentations- und Interaktionselemente zu entwickeln. Die zielgruppenorientierte Entwicklung von Dashboards ist wichtig, um die jeweiligen Daten für ihren Anwendungsfall dynamisch visualisieren zu können und Akteuren ein differenziertes Bild der Daten zu liefern (Sanabria-Lizarraga et al. 2024). Für die Repräsentation verschiedener räumlicher Ebenen

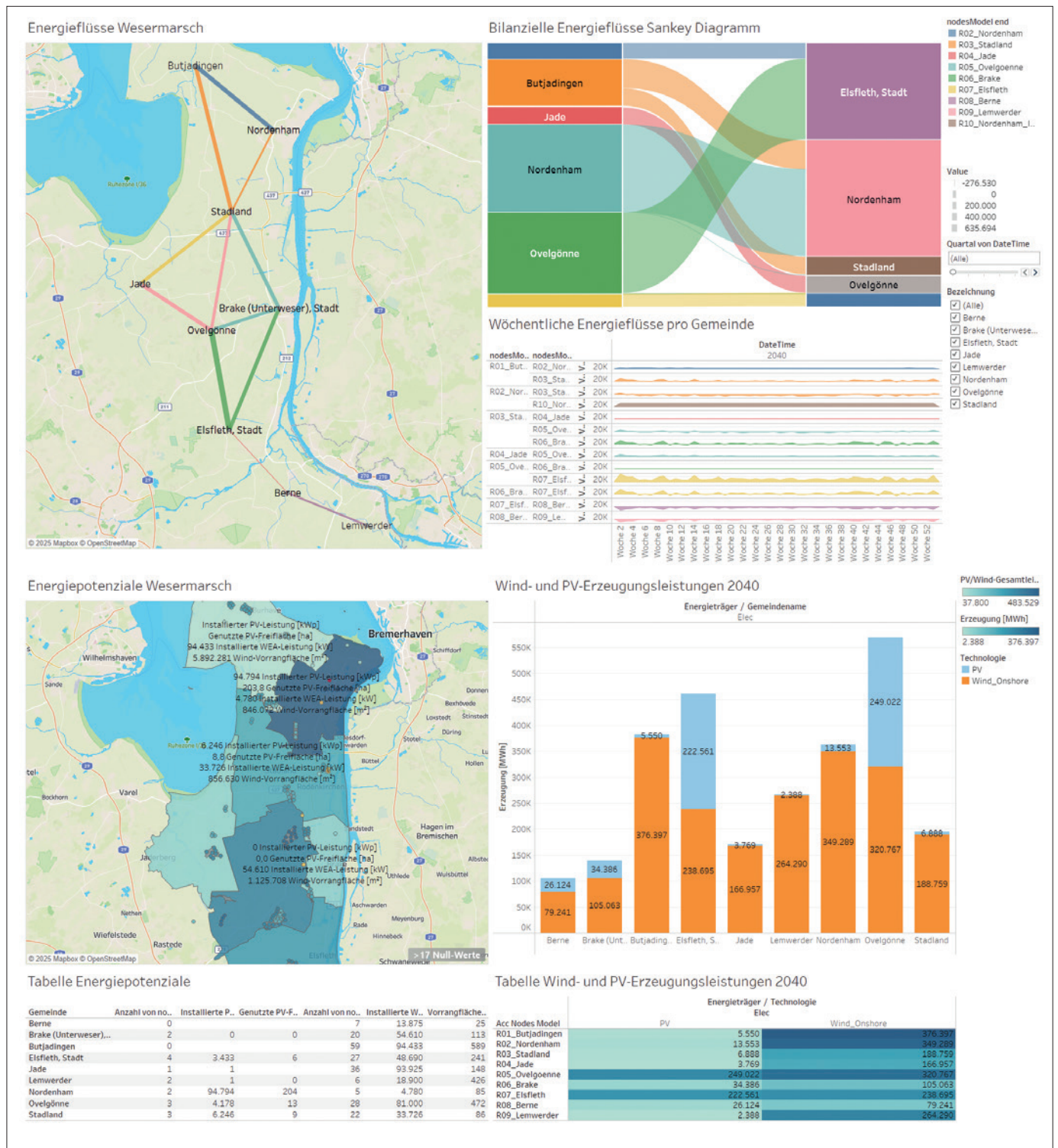


Abbildung 5: Prototypisch erzeugte Darstellung von Dashboards der Energieflüsse zwischen den Netzknoten (oben) sowie Energiepotenzialen und Szenarien zur Erzeugungleistung (unten)

werden Gemeinden basierend auf der Erzeugungsleistung von Anlagen zur erneuerbaren Energieerzeugung dynamisch eingefärbt und Energieflüsse proportional zur Energiemenge skaliert. Verschiedene Technologien und Erzeugungsanlagen werden gezielt unterschiedlich visualisiert, wobei die Farbe und Skalierung der Darstellung jeweils von ihren spezifischen Parametern wie Leistung und Typ abhängig ist. Zudem werden alle sichtbaren Kennzahlen kompakt in Tabellen präsentiert. Dies erleichtert den Vergleich und die Übersicht innerhalb der Dashboards. Ergänzt werden die Visualisierungen durch Histogramme, welche die zukünftigen Energiebilanzen abbilden und so Prognosen und Szenarien visuell unterstützen. Interaktionstechniken, welche die Nutzbarkeit und analytische Tiefe des Dashboards steigern, beinhalten z. B. die Möglichkeit, gezielt räumliche Ebenen – wie etwa Gemeinden – zu filtern und detailliert analysieren zu können. Weiterhin besteht die Möglichkeit, einzelne Netzknoten sowie spezifische Technologien zu selektieren und die Betrachtung durch die gezielte Auswahl eines Zeitabschnitts zu fokussieren. Von der dynamischen Visualisierung über die Skalierung und farbliche Codierung bis hin zur interaktiven Filterung und Auswahl bieten alle Komponenten umfassende Möglichkeiten zur Entscheidungsunterstützung in der Energieleitplanung.

#### 4 PROOF OF CONCEPT

Als Proof of Concept wurde ein Prototyp entwickelt, der zwei Dashboards (siehe Abbildung 5) enthält, welche die Methoden zusammenführen. Über Python-basierte Schnittstellen werden Optimierungsergebnisse in ein relationales Datenmodell überführt und mit geometrischen Entitäten wie Gemeindegrenzen oder Flächenobjekten verknüpft. Werkzeuge zur räumlichen Entscheidungsunterstützung können dabei für verschiedene Anwendungsbereiche, wie z. B. die Flächenbewertung, Potenzialabschätzungen oder auch politische Entscheidungen wie das Ausweisen von Vorrangflächen, genutzt werden (Keenan & Jankowski 2019, Sanabria-Lizarraga et al. 2024). Sie helfen, die Konflikte und Potenziale frühzeitig aufzudecken und visuell aufzubereiten. Das vorliegende Dashboard in Abbildung 5 (oben) bietet die Möglichkeit zur Betrachtung der modellierten Energieflüsse in der Wesermarsch. Das Dashboard enthält eine Kartendarstellung, welche die Wesermarsch abbildet inkl. ihrer Gemeinden, welche als Netzknotenpunkte dargestellt sind. Die Darstellung der Energiemengen zwischen den Netzknoten und wöchentlichen Energieflüsse ermöglicht es, saisonale Schwankungen und Trends zu erkennen. Filter und Steuerelemente ermöglichen es Nutzern, sich auf bestimmte Gemeinden und Zeiträume zu fokussieren. Das zweite Dashboard in Abbildung 5 (unten) zeigt eine Karte, welche die geographische Verteilung installierter PV-Leistung (kWp), genutzter PV-Freifläche (ha), installierter WEA-Leistung (kW) und Wind-Vorrangfläche (m<sup>2</sup>) in verschiedenen Gemeinden der Wesermarsch darstellt.

Das Säulendiagramm stellt die Wind- und PV-Erzeugungsleistungen für das Jahr 2040 in verschiedenen Gemeinden dar. Die erste Tabelle in Abbildung 5 (unten) enthält Informationen zu der Anzahl der Anlagen, PV-Leistung, genutzte PV-Freifläche, Anzahl der Windenergieanlagen und Wind-Vorrangfläche für jede Gemeinde. Die zweite Tabelle „Wind- und PV-Erzeugungsleistungen 2040“ listet die Erzeugungsleistungen nach Energieträger und

Technologie auf. Die prognostizierten Energiebilanzen können mit der momentanen Erzeugungsleistung verglichen und für weiterführende Planungsschritte genutzt werden. Auch eine Veränderung der räumlichen Darstellungsebenen ist möglich. So kann die Leistung von Energieerzeugungsanlagen aggregiert auf Gemeinden oder als Punkt dargestellt werden, um eine angepasste Detailtiefe zu erhalten. Dies kann Akteuren dabei helfen, räumliche Fragen zu möglichen Klimaschutzmaßnahmen, wie dem Repowering von Windenergieanlagen oder den Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik, zu beantworten oder um zu verstehen, wo die größten Energieverbraucher und Potenziale für Effizienzsteigerungen und Ausbau liegen. Durch die interaktiven Filter können verschiedene Szenarien simuliert werden. Maßnahmen, wie der Ausbau von Freiflächen-Photovoltaik, können räumlich priorisiert werden. Damit können z. B. bestehende Raumordnungsprogramme des Landkreises, welche Vorrangflächen für die Nutzung von Wind und Photovoltaik ausweisen (Kroon 2020), bewertet und für zukünftige Energieszenarien angepasst werden. Das Sankey-Diagramm sowie die Zeitreihendiagramme unterstützen Akteure dabei, saisonale Schwankungen im Energiebedarf zu erkennen. Dies ist relevant für die Planung von Energieprojekten. Ziel der Entwicklung des Prototyps ist es, die Anwendbarkeit des Konzepts zu überprüfen und durch einen iterativen Austausch mit Akteuren Verbesserungspotenziale zu identifizieren, was ggf. Modellanpassungen notwendig macht (Bill et al. 2022). In Workshops mit Mitarbeitenden der Kreisverwaltung Wesermarsch wurde die Nutzerfreundlichkeit des Dashboards getestet und die Verständlichkeit der dargestellten Energieflüsse evaluiert. Rückmeldungen zeigten insbesondere den Mehrwert der interaktiven Filter- und Kartenelemente für Entscheidungsprozesse, während die Darstellung komplexer Energieflüsse als teilweise erklärungsbedürftig wahrgenommen wurde. Auf Basis dieses Feedbacks wurde die grafische Aufbereitung der Energieströme überarbeitet und stärker aggregiert.

#### 5 FAZIT

Die Integration von Energiesystemoptimierung in die geodatenbasierte Energieleitplanung erlaubt es Akteuren, Klimaschutzpotenziale und konkrete Maßnahmen interaktiv innerhalb des Gemeindegebiets zu analysieren und zu bewerten. Durch die Kombination von geographischer Visualisierung, Flussdiagrammen und Zeitreihendaten können Akteure datengestützte Entscheidungen treffen (Mauthner et al. 2018), die Auswirkungen von Maßnahmen simulieren und fundierte Entscheidungen treffen, um die Klimaziele zu erreichen (Schnabel et al. 2022). Dashboards können dabei die Priorisierung von Maßnahmen unterstützen und mögliche Konflikte aufdecken. Durch die Verknüpfung verschiedener räumlich und zeitlich aufgelöster Daten, wie Gebäudeinformationen, Flächenpotenzialen, Energieverbrauchsdaten und Zukunftsszenarien für Energieerzeugungsbilanzen und Energieflüsse, lassen sich komplexe Zusammenhänge erkennen und Lösungsansätze entwickeln. Durch die kontinuierliche Aktualisierung und Erweiterung der Datenbasis können Fortschritte in der Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen genau verfolgt und evaluiert werden. Dies ermöglicht eine dynamische Anpassung sowohl der angenommenen Szenarien als auch der Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen an die sich ändernden Rahmenbedingungen und

neuen Erkenntnisse. Wie bereits in gebäudebezogenen Ansätzen (Kaden 2017) deutlich wurde, hängt die Aussagekraft von Modellen stark von der Verfügbarkeit standardisierter Geodaten ab. Die Integration von Energiesystemoptimierung in geodatenbasierte Energieleitplanungsprozesse hilft Planungsakteuren bei der Bewertung verschiedener Szenarien und der Identifizierung von Maßnahmen zur Gestaltung des zukünftigen Energiesystems.

## Danksagung

Die Autoren danken dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur. Diese Arbeit ist im Rahmen des Projekts Regionale Strategische Energieplanung (ReStEP) gefördert aus Mitteln des Programms „Spitzenforschung für Niedersachsen“ entstanden.

## Literatur

Bill, R.; Blankenbach, J.; Breunig, M.; Haunert, J.-H.; Heipke, C.; Herle, S.; Maas, H.-G.; Mayer, H.; Meng, L.; Rottensteiner, F.; Schiewe, J.; Sester, M.; Sörgel, U.; Werner, M. (2022): Geospatial information research: State of the art, case studies and future perspectives. In: *Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science* 90 (4), S. 349–389. DOI: 10.1007/s41064-022-00217-9.

Gils, H. C.; Schmutz, J.; Gardian, H.; Yeliget, M.; Wetzel, M. (2025): Development of the trans-european hydrogen network: model-based planning and status of implementation. In: 3rd New Zealand Hydrogen Symposium, 3.–5. February 2025, Christchurch, New Zealand.

Hoffmann, M.; Schyska, B. U.; Bartels, J.; Pelsler, T.; Behrens, J.; Wetzel, M.; Gils, H. C.; Tang, C.-F.; Tillmanns, M.; Stock, J.; Xhonneux, A.; Kotzur, L.; Praktiknjo, A.; Vogt, T.; Jochem, P.; Linßen, J.; Weinand, J. M.; Stolten, D. (2024): A review of mixed-integer linear formulations for framework-based energy system models. In: *Advances in Applied Energy* 16, 100190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2024.100190>.

Kaden, R. (2017): Webbasierte Berechnung der Energiebedarfe und Sanierungspotenziale von Wohngebäuden. In: *gis.Science* 1/2017, S. 19–27.

Keenan, P. B.; Jankowski, P. (2019): Spatial decision support systems: Three decades on. In: *Decision Support Systems* 116, S. 64–76. DOI: 10.1016/j.dss.2018.10.010.

Kirchner, A. (2024): Scenarios for the energy system [Book chapter]. DOI: 10.1515/9783111264271-005.

Kroon, M. (2020): Umweltbericht. <https://wesermarsch.de/wp-content/uploads/2024/02/03-Umweltbericht.pdf> (26.02.2025).

Mauthner, F.; Leusbrock, I.; Nageler, P.; Heimrath, R.; Schardinger, I.; Biberracher, M. (2018): Räumliche Energieplanung in Städten und Kommunen. In: *Transforming Cities* 1/2018, S. 44–48.

Nolde, M.; Schwanebeck, M.; Dethlefsen, F.; Biniyaz, E.; Dittmann, R. (2016): Entwicklung eines 3D-Online-Planungswerkzeugs zur Identifikation untertägiger Potenzial-Suchräume für die Energiespeicherung an Beispielen aus Schleswig-Holstein. In: *gis.Science* 3/2016, S. 98–105.

Pike, W. A.; Stasko, J.; Chang, R.; O’Connell, T. A. (2009): The science of interaction. In: *Information Visualization* 8 (4), S. 263–274. DOI: 10.1057/ivs.2009.22.

Sanabia-Lizarraga, K. G.; Carballo-Mendivil, B.; Arellano-González, A.; Bueno-Solano, A. (2024): Business intelligence for agricultural foreign trade: Design and application of power bi dashboard. In: *Sustainability* 16 (21), 9576. DOI: 10.3390/su16219576.

Schnabel, M.; Elbeshausen, M.; Koch, S.; Erdmann, S. (2024): 8 participatory processes in geodata-based thermal energy planning. In: Leonhardt, S.; Nusser, T.; Görres, J.; Rosinger, S.; Stryi-Hipp, G.; Eckhard, M. (Hrsg.): *Innovations and challenges of the energy transition in smart city districts*. De Gruyter, Berlin/Boston, S. 119–132. DOI: 10.1515/9783110777567-008.

Schnabel, M.; Gravenhorst, T.; Belkot, T.; Friebe, F.; Erdmann, S.; Koch, S. (2022): Visual Data Discovery im Kontext der geodatenbasierten Wärmeleitplanung. In: *gis.Science* 2/2022, S. 63–74.

Wetzel, M. et al. (2024): REMix: A GAMS-based framework for optimizing energy system models. In: *Journal of Open Source Software* 9 (99), 6330. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.06330>.

Wietschel, M. et al. (2019): Integration erneuerbarer Energien durch Sektorkopplung: Analyse zu technischen Sektorkopplungsoptionen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/integration-erneuerbarer-energien-durch-0> (12.11.2024).