

Ein technologisch hochaufgelöster Verkehrsdatensatz als Grundlage für Energiesystemmodelle im Einklang mit den FAIR-Prinzipien

Hedda Gardian, Fabia Miorelli, Hans Christian Gils

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Vernetzte Energiesysteme, Curiestr. 4, 70569 Stuttgart, Deutschland, +49 711/6862-8819, hedda.gardian@dlr.de, <https://www.dlr.de/de/ve/>

Abstract:

In Energiesystemmodellen wurde der Verkehrssektor lange Zeit nur am Rande betrachtet, obwohl seine Bedeutung für die Sektorenkopplung stetig wächst. Um eine detaillierte Analyse zu unterstützen, wurde im Rahmen des SEDOS Projekts eine neue Datengrundlage geschaffen. Innerhalb des umfassenden SEDOS-Datensatzes, der das deutsche Energiesystem als Punktmodell abbildet, werden Verkehrsdaten mit hoher technologischer Auflösung bereitgestellt. Dies ermöglicht eine detaillierte Modellierung von Flottenoptimierung, Energiebedarf und Flexibilitätsoptionen. Durch die Ausrichtung an den FAIR-Prinzipien gewährleistet der Datensatz unter anderem Auffindbarkeit, Zugänglichkeit, Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit – insbesondere durch offene Lizenzierung, umfangreiche Metadatenanreicherung und die Nutzung der Open Energy Ontology. Indem der Aufwand für die Datenakquise und Harmonisierung reduziert wird, unterstützt die Verkehrsdatenbasis von SEDOS Forschende und politische Entscheidungsträger bei der Entwicklung robuster Szenarien für die Energiewende.

Keywords: open dataset, FAIR, energy system modeling, transport sector, open source, energy transition, BEV, e-Mobilität, Energiewende, Datensatz, Verkehrssektor

1 Einführung

Eine nachhaltige und emissionsfreie Transformation des Energiesystems erfordert eine ganzheitliche Modellierung, die die Wechselwirkungen zwischen den Sektoren Strom, Wärme, Industrie und Verkehr berücksichtigt. Eine große Herausforderung in der Energiesystemmodellierung ist jedoch der hohe Aufwand für die Datensammlung, -validierung und -harmonisierung aus verschiedenen Quellen. Der SEDOS-Datensatz („Die Bedeutung der Sektorintegration im Rahmen der Energiewende in Deutschland – Modellierung mit einem nationalen Open-Source-ReferenzEnergieSystem“) adressiert diese Herausforderung, indem er eine umfassende, aktuelle und strukturierte Datenbasis bereitstellt, die den Aufwand für die Datenakquise erheblich reduzieren kann [1].

SEDOS dient sowohl als Referenz-Modellstruktur [2] als auch als offener Datensatz für die sektorengekoppelte Energiesystemanalyse. Während der Datensatz mehrere energierelevante Bereiche abdeckt, konzentriert sich dieser Beitrag auf den Verkehrssektor, der in Energiesystemmodellen historisch unterrepräsentiert war. Angesichts der zunehmenden Bedeutung von Elektrifizierung, alternativen Kraftstoffen und systemischen Wechselwirkungen wie der Bereitstellung von Flexibilität ist eine detaillierte Datengrundlage

für die Verkehrsmodellierung unerlässlich, um zukünftige Entwicklungen des Energiesystems realistisch abzubilden.

Ein zentraler Aspekt des SEDOS-Datensatzes ist seine Ausrichtung an den FAIR-Prinzipien (Findability, Accessibility, Interoperability, and Reusability) [3], die sicherstellen, dass die Daten transparent, gut dokumentiert und für Forschende sowie politische Entscheidungsträger leicht zugänglich sind. Um dies zu gewährleisten, wird der Datensatz auf der Open Energy Platform (OEP) [4] gehostet und im Open Energy Databus [5] registriert, was eine strukturierte Metadatenverwaltung, Versionierung und offene Datenbereitstellung ermöglicht.

2 Überblick SEDOS-Datensatz

2.1 Modellstruktur

Der Datensatz basiert auf einer Modellstruktur, die wie in [2] beschrieben, die Daten relational strukturiert und einen Bezugsrahmen für die Verknüpfung von Technologien, Stoffströmen und Sektoren bietet. Sie kann mit Hilfe der SEDOS-GUI [6] visualisiert und analysiert werden. Diese Referenzmodellstruktur gewährleistet Konsistenz und hilft den Nutzern zu verstehen, wie einzelne Technologien zu einem vollständigen Modell kombiniert werden können. Darüber hinaus erleichtert sie den Zugriff auf den Datensatz, indem sie die Stoffströme durch die grafische Darstellung der Modellstruktur visualisiert.

2.2 Datenumfang

Der Umfang des Datensatzes kann in zeitliche, räumliche und technologische Dimensionen eingeteilt werden und wird im Folgenden beschrieben.

In der zeitlichen Dimension bietet der Datensatz eine stündliche Auflösung für alle gegebenen Profile, was eine hohe Granularität bei der Modellierung der Systemdynamik, der Flexibilität und des Energieausgleichs ermöglicht. Er umfasst neben dem Basisjahr 2021 neun Szenariojahre, die langfristige Projektionen bis zum Jahr 2070 ermöglichen. Die Szenariojahre haben enge Intervalle (3 Jahre) in der nahen Zukunft und weitere Intervalle in der fernen Zukunft (10 Jahre) und spiegeln so die Datenverfügbarkeit und Unsicherheit wider (siehe Abbildung 1).

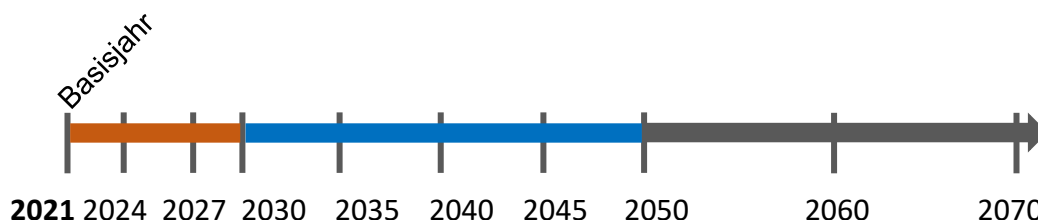


Abbildung 1: Zeitliche Auflösung des SEDOS-Datensatzes: 3 Jahresschritte (orange), 5 Jahresschritte (blau), 10 Jahresschritte (grau).

Die räumliche Dimension stellt Deutschland als Punktmodell ohne explizite Übertragungstechnologien dar, so dass die räumliche Auflösung vereinfacht wird und der Schwerpunkt auf den Wechselwirkungen zwischen den Sektoren liegt. Zusätzlich ist der Datensatz auf eine europäische Perspektive für den Stromsektor erweitert, was eine Analyse

grenzüberschreitender Strommärkte und internationaler Energiesysteminteraktionen ermöglicht.

In der technologischen Dimension deckt der Datensatz fünf Hauptsektoren ab - Wärme, Industrie, Strom, Verkehr und X2X (Umwandlungssektor) - mit mehr als 2000 einzelnen Technologien. Der Datensatz umfasst auch mehrere Aggregationsebenen, die Flexibilität für verschiedene Modellierungsanwendungen und Auflösungen gewährleisten und die in der SEDOS-GUI eingesehen werden können (siehe Beispiel in Abbildung 2).

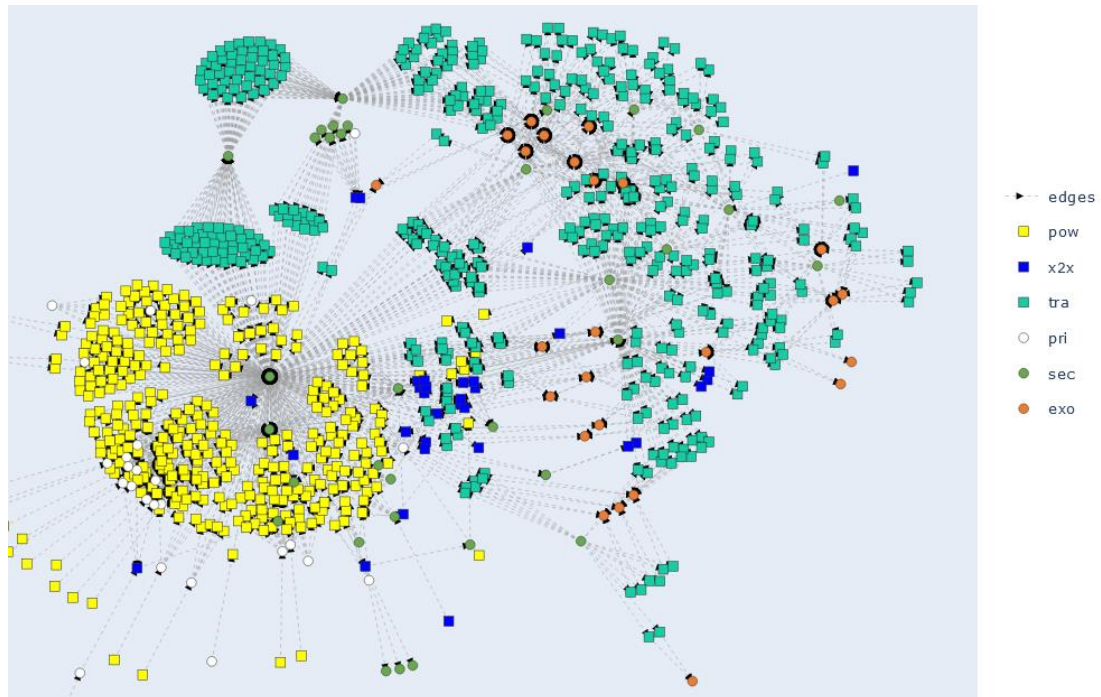


Abbildung 2: Ausschnitt aus der Modellstruktur, visualisiert in der SEDOS-GUI [6]: Stromsektor (pow), Umwandlungssektor (x2x), Transportsektor (tra), primäre Energiequellen (pri), sekundäre Energiequellen, Nachfragen (exo).

Darüber hinaus integriert SEDOS verschiedenste Datenpunkte, darunter:

- Primärenergieträger, mit stündlichen und jährlichen Potenzialen sowie Preisen für erneuerbare und fossile Energieträger,
- techno-ökonomische Parameter, u.a. Investitions- und Betriebskosten, Wirkungsgrade, installierte Kapazitäten und Ausbaubeschränkungen,
- Daten zur Energienachfrage, die makroökonomische, demografische und technische Entwicklungen bei Verkehrsdienstleistungen, Industrieproduktion, Stromverbrauch und Heizbedarf widerspiegeln,
- Daten zu politischen Rahmenbedingungen, wie z. B. Ziele für erneuerbare Energien Integration und regulatorische Beschränkungen sowie
- Import- und Exportbeschränkungen, einschließlich der Preise für Energieträger, Importbeschränkungen und Kosten-Potenzial-Verhältnisse für Power-to-Gas- (PtG) und Power-to-Liquid- (PtL) Technologien.

2.3 Verkehrsdaten

Als Beispiel umfasst der Verkehrssektor im Datensatz eine Vielzahl von Transportmitteln, darunter Flugzeuge, Stadt- und Fernbusse und Züge, Binnenschiffe, Pkw, motorisierte Zweiräder, Lkw sowie Fahrzeuge, die im Baugewerbe und in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

Die skalaren Daten für diese Verkehrsträger stammen hauptsächlich aus Literaturrecherchen, eigenen Berechnungen und fundierten Annahmen. Dies gewährleisten eine realistische Darstellung der Fahrzeugeigenschaften, des Energieverbrauchs und der Betriebsparameter.

Bei den Fahrprofilen werden je nach Verkehrsträger unterschiedliche Methoden angewandt. So werden beispielsweise Fahrprofile für Züge aus Fahrplanauswertungen abgeleitet, während Profile für einzelne Straßenfahrzeuge mit dem Open-Source-Tool `venco.py` [7] berechnet werden. Dieses Tool generiert Fahrprofile und Flexibilitätsprofile für die Elektromobilität, basierend auf Daten der Studien Mobilität in Deutschland (MiD) [9] und Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (KiD) [10].

Durch die Einbeziehung dieser detaillierten Auflösung und auf die verschiedenen Datentypen angepassten Methoden, ermöglicht die Abbildung des Verkehrssektors in SEDOS eine differenzierte Analyse der Flottenzusammensetzung, des Energiebedarfs und der potenziellen Flexibilitätsoptionen für die Modellierung des Energiesystems.

3 Anwendung

Der Datensatz ist so konzipiert, dass er die Datenanforderungen einer Vielzahl von Energiesystemmodellen erfüllt und die Untersuchung verschiedener Forschungsfragen ermöglicht. Um den notwendigen Datenumfang zu bestimmen, wurden die Eingabedatenanforderungen der Modellierungsframeworks FINE [11], oemof [12] und TIMES [13] als repräsentative Modelle analysiert. Dieser Ansatz gewährleistet einen umfassenden und vielseitigen Datensatz, der über verschiedene Modellierungsframeworks hinweg genutzt werden kann.

Da die Art der Datenaufbereitung auch von dem jeweiligen Modellierungsansatz abhängt, wurden verschiedene Modellierungskonzepte für unterschiedliche Komponenten entwickelt und zur Verfügung gestellt. Ein Beispiel ist das Emissionskonzept, das in der SEDOS-Dokumentation [7] beschrieben ist.

3.1 Verkehrssektormodellierung

Als Beispiel wird im Folgenden der Modellierungsansatz für den Verkehrssektor kurz analysiert, um zu veranschaulichen, dass die bereitgestellten Daten für verschiedene Modellierungsansätze genutzt werden können.

Im Verkehrssektor wird zwischen einem flexiblen bzw. kontrolliertem und einem unflexiblen Modellierungsansatz für verschiedene Transportmittel unterschieden.

Für die Modellierung aller Transportmittel mit Ausnahme von batterieelektrischen Pkw und Lkw kommt ein vereinfachter, unflexibler Ansatz zum Einsatz (siehe Abbildung 3). Dabei wird angenommen, dass diese Fahrzeuge einem festgelegten, exogen vorgegebenen Fahrprofil

folgen. Zudem wird der Kraftstofftank nicht als potenzieller Puffer zwischen Energiebedarf und Antriebsleistung berücksichtigt. Diese Vorgehensweise basiert auf der Annahme, dass der Betankungsvorgang bei kraftstoffbetriebenen Fahrzeugen (ICEV) – im Gegensatz zu batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) – gleichmäßig über die gesamte Flotte verteilt erfolgt und während der Fahrt stattfindet, anstatt während der Parkzeiten entkoppelt zu werden. Zusätzlich wird von einer ausreichend großen Speicherkapazität innerhalb der Kraftstoffversorgungskette ausgegangen, die in dieser Form im Stromnetz nicht existiert. Daher wird für BEV eine detaillierte Betrachtung der Batterien und des Ladevorgangs vorgenommen.

Bei unflexiblen Transportmitteln wird lediglich die Zusammensetzung der Flotte optimiert, das heißt, die Wahl der Antriebstechnologie und des Kraftstofftyps für eine bestimmte Fahrzeugkategorie (z. B. Mittelklassewagen). Der Modal Split, also die Aufteilung der Verkehrsnachfrage auf verschiedene Fahrzeugkategorien (Kleinwagen, Busse, Züge usw.), wird durch exogen vorgegebene Nachfrageparameter bestimmt.

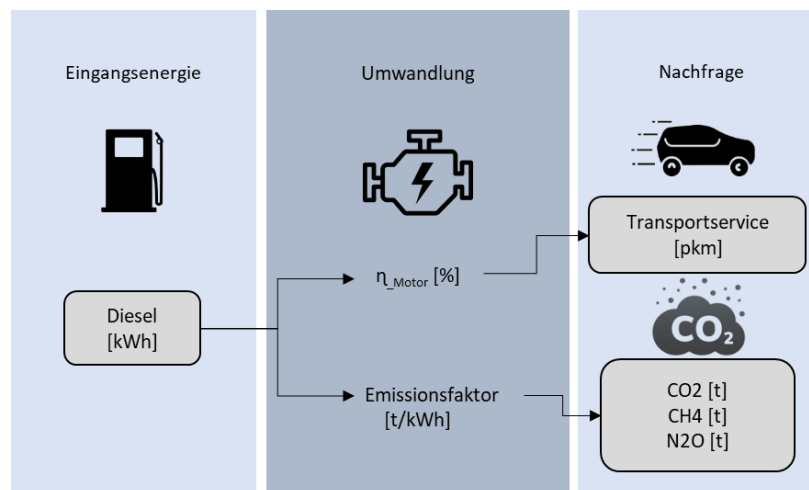


Figure 3: Unflexibler Modellierungsansatz für Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.

Im Gegensatz dazu wird im flexiblen Ansatz explizit eine interne Batterie modelliert, was die Entkopplung von Tanken und Fahren ermöglicht und damit eine realistischere Darstellung der realen Verhältnisse ermöglicht. Darüber hinaus erleichtert dieser Ansatz die Integration von Netzausgleichsdiensten, da das Laden modellendogen auf systemfreundliche Weise optimiert werden kann, wobei die gespeicherte Energie dynamisch auf der Grundlage der Systemanforderungen genutzt wird.

Die detaillierte Modellierung der BEV führt zu einer Unterteilung der Flotte in drei Kategorien, die die in Abbildung 4 dargestellten Lademodi repräsentieren: (1) nutzergesteuertes, unflexibles Laden ohne Optimierungsmöglichkeit, (2) systemgesteuertes, flexibles Laden und (3) systemgesteuertes Laden mit der Möglichkeit der Rückspeisung ins Netz (V2G). Die Anteile dieser Kategorien sind exogen vorgegeben. Im Jahr 2021 wird davon ausgegangen, dass alle BEV unflexibel laden. In den zukünftigen Szenariojahren sinkt jedoch der Anteil der Fahrzeuge, die unflexibel laden, was auf die erwarteten zukünftigen Strompreisanreize zurückzuführen ist.

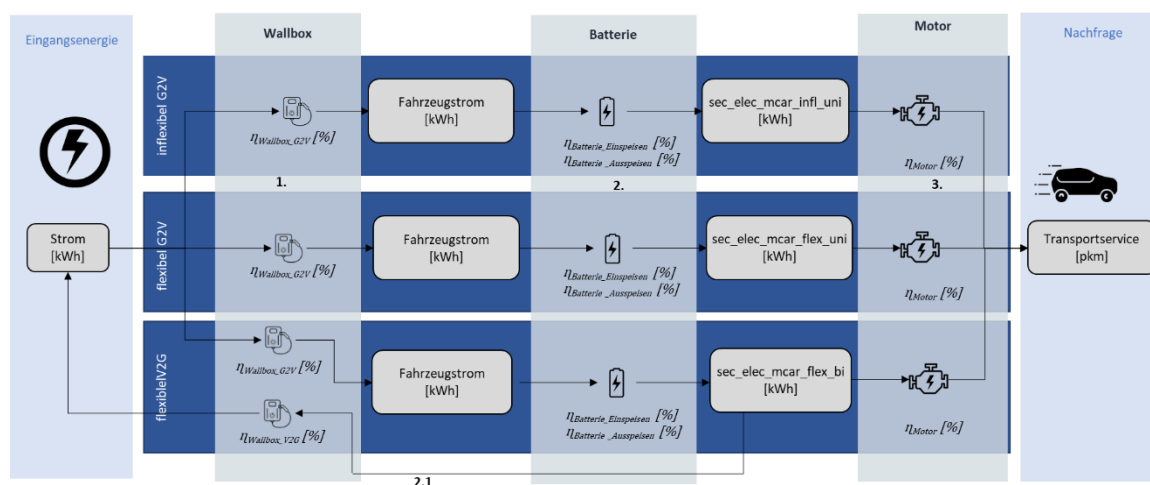


Abbildung 4: Modellierungsschema für Elektrofahrzeuge mit flexiblem Laden. Veranschaulichung der Interaktion zwischen der Ladesäulen-Komponente (1), der Batterie (2) und dem Motor (3) sowie der Energieflüsse und des Stromrückflusses ins Netz (2.1) in Form von V2G-Funktionalität.

Durch die Einbeziehung beider Modellierungsansätze (unflexibel und flexibel) in die Daten kann der SEDOS-Datensatz verwendet werden, um potenzielle Flexibilitäten im Verkehrssektor zu modellieren und gleichzeitig die Modellgröße zu beschränken, wenn eine komplexe Modellierung wenig Vorteile bietet.

3.2 Szenarien

Der SEDOS-Datensatz liefert auch Daten zur Untersuchung verschiedener Szenarien für die Transformation des Energiesystems, um Treibhausgasemissionen zu minimalen Kosten zu reduzieren und dabei unterschiedliche strategische Prioritäten zu berücksichtigen. Das Basisszenario ToKio (technologieoffen & kostenoptimal) identifiziert den kosteneffizientesten Technologiemix, um bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen. Szenariovarianten analysieren spezifische Einschränkungen und politische Ziele. RIGa (Reduced Import Dependency for Fossil Gas) untersucht Wege zur Minimierung der Abhängigkeit von fossilen Gasimporten, einschließlich LNG, unter Beibehaltung der Treibhausgasreduktionsziele. SienA/B (Sector Integration) untersucht die Rolle der Sektorenkopplung bei der Emissionsreduzierung. SienA erzwingt eine Mindestnutzung von Wasserstoff oder H₂-Derivaten, während SienB ein Mindestmaß an heimischer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien vorschreibt.

4 Datenmanagement

Eine offene Bereitstellung des SEDOS-Datensatzes im Einklang mit den FAIR-Prinzipien erfordert standardisierte Strukturen und eine benutzerfreundliche Infrastruktur. In diesem Kapitel stellen wir das Datenformat, die Dateninfrastruktur und zusätzliche Funktionen zur Vereinfachung der Datennutzung vor.

4.1 Datenformat

Die Tabellen werden im CSV-Format mit einer spaltenbasierten Struktur bereitgestellt. Standardisierte Spalten mit allgemeinen Informationen (ID, Region, Jahr, Typ, bandwidth_type, Methode, Quelle, Kommentar) werden durch Parameterspalten ergänzt, die

jeweils einen bestimmten Technologieparameter beschreiben (z.B. Lebensdauer, Kilometerstand, Wirkungsgrad). Die Zeilen enthalten die relevanten Daten für jedes Szenariojahr, da nur eine Region betrachtet wird. Jede CSV-Tabelle wird von einer gleichnamigen Metadaten-Datei im JSON-Format begleitet, die einen Metadaten-String im OEmetadata-Standard [14] enthält. Besonderer Wert wird auf eine umfangreiche Beschriftung unter Verwendung der Open Energy Ontology (OEO) [15] gelegt.

4.2 Dateninfrastruktur

Der SEDOS-Datensatz wird mit Hilfe des OEP und des Open Energy Databus verwaltet und strukturiert, um eine effiziente Organisation und Zugänglichkeit der Daten zu gewährleisten. Die Kerndaten werden zusammen mit den entsprechenden Metadaten in das OEP hochgeladen. Die Metadaten werden außerdem im Open Energy Databus registriert, einer intelligenten Plattform, die für die Strukturierung, Verknüpfung und Verwaltung von Energiedatensätzen entwickelt wurde.

Der Databus fungiert als virtueller Bus, der die Daten nicht selbst speichert, sondern stattdessen eine auf Metadaten basierende Adressierung und Koordination verteilter Datenquellen ermöglicht. Er organisiert Datensätze in strukturierten Sammlungen und Gruppen und verbessert so die Auffindbarkeit und Rückverfolgbarkeit. Durch seinen Wissensgraphen-Ansatz ermöglicht der Databus den Nutzern, die Herkunft der Daten nachzuvollziehen und sorgt so für Transparenz und Zuverlässigkeit bei der Modellierung von Energiesystemen. [16]

Durch die Integration des SEDOS-Datensatzes in diese Infrastruktur können die Daten effizient abgerufen, verknüpft und für die Energieforschung und Szenarioanalyse genutzt werden. Dieser strukturierte Ansatz erleichtert die Zusammenarbeit, unterstützt die automatische Datenabfrage und verbessert die Konsistenz zwischen verschiedenen Studien und Modellen.

4.3 Unterstützung bei der Nutzung

Das SEDOS-Projekt nutzt nicht nur die Open Energy Platform und den Open Energy Databus für die Datenverwaltung, sondern stellt auch eine Reihe eigener Tools zur Verfügung, die alle in einem Git-Repository [17] gespeichert sind. Dieses Repository enthält die SEDOS-Online-Dokumentation, eine GUI, Datenadapter und Automatisierungsskripte.

Die SEDOS-Dokumentation ist eine umfassende Ressource, die detaillierte Hintergrundinformationen über die Struktur und den Inhalt des Datensatzes, Arbeitsabläufe und Richtlinien für die Arbeit mit den SEDOS-Daten enthält. Sie umfasst allgemeine Informationen über die Modellstruktur, Szenariodefinitionen und Nomenklatur sowie technische Spezifikationen der bereitgestellten Tools. Darüber hinaus enthält sie Anweisungen zur Datenintegration und -nutzung sowie Richtlinien für die zukünftige Erweiterung oder Verbesserung des Datensatzes. Da die Dokumentation direkt in Git verwaltet wird, bleibt sie versioniert, transparent und kann von der Community leicht aktualisiert werden. [7]

Eine Schlüsselkomponente des Projekts ist die SEDOS GUI, ein interaktives Tool, das die Erkundung und Transparenz des Datensatzes erleichtern soll. Die GUI bietet eine benutzerfreundliche Oberfläche, die es dem Benutzer ermöglicht, die zugrunde liegende

Modellstruktur des Referenz-Energiesystems anhand eines Netzwerkgraphen zu untersuchen. Dieser bietet eine visuelle Darstellung der Komponenten des Systems und ihrer Verbindungen. Darüber hinaus verfügt die GUI über eine integrierte Tabellenansicht, die es dem Benutzer ermöglicht, die Daten direkt in der Benutzeroberfläche zu untersuchen. Eine der wichtigsten Funktionen der GUI ist die Möglichkeit, die in der Modellstruktur definierten Aggregationsschritte zu analysieren. Die Benutzer können verfolgen, wie die Daten auf verschiedenen Detailebenen verarbeitet und strukturiert werden und diese aggregierten Datensätze bei Bedarf herunterladen. Darüber hinaus unterstützt die GUI die Erstellung von Diagrammen auf der Grundlage potenzieller Modellergebnisse, so dass die Benutzer die Ergebnisse verschiedener Szenarien vergleichen und gleichzeitig die Konsistenz der Datenverwendung sicherstellen können. So bietet die GUI visuelle Einblicke in die verfügbaren Daten und erleichtert das Verständnis und die Arbeit mit dem Datensatz, auch für Benutzer ohne umfassende Programmiererfahrung. [6]

Neben der grafischen Benutzeroberfläche enthält das Git-Repository auch zusätzliche Tools zur Unterstützung der Datennutzung. Es werden drei Beispieladapter für die direkte Integration in die Modellierungsframeworks FINE, oemof und TIMES bereitgestellt, die den strukturierten Import von SEDOS-Daten in diese Tools ermöglichen. Darüber hinaus unterstützen verschiedene Automatisierungsskripte das effiziente Hoch- und Herunterladen von Daten, was die Reproduzierbarkeit gewährleistet und die Arbeitsabläufe vereinfacht.

Alle Tools sind im SEDOS Git-Repository dokumentiert, so dass sie für die Zusammenarbeit und Weiterentwicklung zugänglich sind.

4.4 Berücksichtigung der FAIR-Prinzipien

Der Teildatensatz für den Verkehrssektor wird gemäß den Festlegungen des SEDOS-Projekts veröffentlicht. Dieses sieht die Verwendung eines FAIR-Implementierungsprofils (findability, accessibility, interoperability, and reusability) [3, 18] vor, indem ein strukturierter Ansatz für die Datenverwaltung, Dokumentation und Standardisierung verwendet wird. Alle Komponenten des Projekts trägt dazu bei, dass der Datensatz gut dokumentiert, maschinenlesbar und über verschiedene Modellierungsframeworks hinweg wiederverwendbar bleibt.

Die SEDOS-Dokumentation spielt eine entscheidende Rolle bei der Gewährleistung der Auffindbarkeit und Wiederverwendbarkeit, da sie klare Richtlinien für die Struktur des Datensatzes, die Verwendung von Metadaten und die Integrationsabläufe enthält. Da die Dokumentation in einem Git-Repository gepflegt wird, ist sie transparent, versioniert und für alle Benutzer zugänglich. Darüber hinaus verbessert die SEDOS-Benutzeroberfläche die Zugänglichkeit, indem sie eine interaktive Möglichkeit bietet, sowohl die Modellstruktur als auch die Daten zu erkunden. Durch die Netzwerkgrafik, die Tabellenansicht und die Aggregationsfunktionen können Benutzer intuitiv durch den Datensatz navigieren und relevante Informationen extrahieren, ohne direkt auf die Datenbank zugreifen zu müssen.

Um die Interoperabilität zu unterstützen, macht das Projekt ausgiebig Gebrauch von standardisierten Tabellen- und Metadatenformaten. Alle Daten sind in einem spaltenbasierten Format strukturiert, in dem allgemeine Informationen durch parameterspezifische Spalten ergänzt werden, um Klarheit und Konsistenz zu gewährleisten. Jede CSV-Datei wird von einer Metadaten-Datei im JSON-Format begleitet, die dem oemetadata-Standard [14] folgt, was die

maschinelle Lesbarkeit verbessert und die automatische Verarbeitung erleichtert. Darüber hinaus werden alle verwendeten Konzepte unter Verwendung der OEO kommentiert und somit mit präzisen und erforderlichen Attributen beschrieben.

Durch die Nutzung des OEP und des Open Energy Databus gewährleistet SEDOS außerdem die Auffindbarkeit und Zugänglichkeit. Die Integration dieser externen Infrastrukturen ermöglicht eine strukturierte Speicherung, Erkennung und Abfrage von Daten, während die Metadaten zur besseren Auffindbarkeit registriert und mit einer dauerhaften und eindeutigen Kennung versehen werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Datensätze offen zugänglich bleiben und von Forschern und Modellierern effizient referenziert werden können.

Schließlich fördert das Projekt die Wiederverwendbarkeit, indem der Datensatz unter einer offenen Lizenz veröffentlicht wird.

Durch die Übernahme etablierter Standards, gut dokumentierter Strukturen und offen zugänglicher Repositorien verwendet das SEDOS-Projekt ein FAIR-Implementierungsprofil und maximiert die Nutzbarkeit für die Energiesystemmodellierungsgemeinschaft.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Der SEDOS-Datensatz liefert eine wertvolle Datenbasis für die Analyse des zukünftigen deutschen Energiesystems. Er bietet strukturierte und zugängliche Open-Source-Daten, die die Bewertung von Energieinfrastruktur- und Politikmaßnahmen unterstützen. Durch die Zusammenführung und Systematisierung von Daten für das deutsche Energiesystem hat der Datensatz das Potenzial, den Arbeitsaufwand von Modellierern für die Sammlung, Organisation und Auswahl von Modelleingangsdaten zu reduzieren. Dies ermöglicht eine effektivere Konzentration auf die Modellierungsarbeit und Ergebnisanalyse.

Da sich der Energiesektor ständig weiterentwickelt, plant das SEDOS-Konsortium, den Nutzen weiter zu erhöhen, indem der Datenzugriff vereinfacht und die Integration neuer Datenquellen durch den Einsatz von KI für Aktualisierungen automatisiert wird. Diese geplanten Entwicklungen könnten sicherstellen, dass der Datensatz aktuell und umfassend bleibt, um vielfältigen Nutzern ein wertvolles Instrument für die Analyse von Energiesystemen und deren langfristige Planung zur Verfügung zu stellen.

6 Danksagung

Dieser Beitrag wurde ermöglicht durch die Förderung des SEDOS-Projekts durch das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 03E11040D.

Die Autoren bedanken sich für die Beiträge des SEDOS-Projektteams. Der hier vorgestellte Teildatensatz basiert auf den Arbeiten, die im Rahmen des SEDOS-Projekts durchgeführt wurden. Darüber hinaus ist die Arbeit von Samuel Hasselwander am DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte zu würdigen, der die aggregierten Daten für Personenkraftwagen aufbereitet hat.

7 Beiträge der Autor:innen

HG beschaffte die skalaren Daten des Straßenverkehrssektors, während FM die vorgestellten Zeitreihendaten für BEVs erstellte. HG transformierte, kommentierte und lud die präsentierten Daten des Straßenverkehrssektors hoch und initiierte, konzipierte und leitete das Manuskript. HCG war Teil des Projektkonzeptionsteams und leitete den inhaltlichen Ansatz für den Verkehrsdatensatz. Alle Autoren haben den Inhalt geprüft und der Einreichung zugestimmt.

Literatur

- [1] SEDOS project team: SEDOS - The impact of Sector integration in the context of the Energy transition in Germany - modeling with a national Open Source reference energy system, <https://www.ier.uni-stuttgart.de/forschung/projekte/aktuell/sedos/>.
- [2] Reveron Baecker, Beneharo; Hamacher, Thomas; Slednev, Viktor; Müller, Gian; Sehn, Vera; Winkler, Jonas; Bailey, Isela; Gardian, Hedda; Gils, Hans Christian; Muschner, Christoph; Weinand, Jann; Fahl, Ulrich (2024): Comprehensive and open model structure for the design of future energy systems with sector coupling. Renewable and Sustainable Energy Transition. 6. 100094. 10.1016/j.rset.2024.100094.
- [3] Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Sci Data 3, 160018 (2016). <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.
- [4] Hülk, Ludwig et al. (2025): Open Energy Family - Open Energy Platform (OEP), 1.1.0, <https://openenergyplatform.org/>.
- [5] DBpedia Association and Institut für Angewandte Informatik e. V. (InfAI) (2023): Open Energy Databus, <https://databus.openenergyplatform.org/>.
- [6] SEDOS Project Team (2024): SEDOS GUI, <https://sedos.apps.rl-institut.de/>.
- [7] SEDOS Project Team (2024): SEDOS Documentation, <https://sedos-project.github.io/#github/>.
- [8] Miorelli, Fabia; Wulff, Niklas; Fuchs, Benjamin; Gils, Hans Christian; Jochem, Patrick (2024): An open-source python-based model to represent the charging flexibility and vehicle-to-grid potential of electric vehicles in energy systems models: venco.py, Preprint.
- [9] infas, DLR, IVT and infas 360 (2017): Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht, <https://mobilitaet-in-deutschland.de>.
- [10] KBA (2012): Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland - KiD 2010, <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/587267/>.
- [11] Klütz et al., (2025): ETHOS.FINE: A Framework for Integrated Energy System Assessment. Journal of Open Source Software, 10(105), 6274, <https://doi.org/10.21105/joss.06274>.
- [12] Hilpert et al. (2018): The Open Energy Modelling Framework (oemof) - A new approach to facilitate open science in energy system modelling, Energy Strategy Reviews, 22(16-25), <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.07.001>.
- [13] Loulou, G. Goldstein, A. Kanudia, A. Letilla, U. Rmme, Documentation for the TIMES Model, IEA, 2016, https://github.com/etsap-TIMES/TIMES_Documentation/tree/master.
- [14] Hülk, Ludwig; Huber, Jonas; Hoffmann, Christian; Muschner, Christoph (2025): Open Energy Family - Open Energy Metadata (OEMetadata), 2.0.3, <https://github.com/OpenEnergyPlatform/oemetadata/>.
- [15] Emele, Lukas et al. (2024): Open Energy Ontology (OEO), 2.6.0, <https://openenergyplatform.org/ontology/>.
- [16] Hoyer-Klick, Carsten et.al (2023): FAIR Data in Energy Systems Analysis, International Conference on Energy Meterology, June 27th – 29th, 2023, Padova.
- [17] SEDOS Project Team (2024): sedos-project git, <https://github.com/sedos-project>.
- [18] Schultes, E., Magagna, B., Hettne, K.M., Pergl, R., Suchánek, M., Kuhn, T. (2020). Reusable FAIR Implementation Profiles as Accelerators of FAIR Convergence. In: Grossmann, G., Ram, S. (eds) Advances in Conceptual Modeling. ER 2020. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12584. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65847-2_13.