

Energiesystemmodelle – Ein Werkzeug für die Entwicklung der Energiestrategie Kärnten

**Albrecht Griebhammer, Viktor Wesselak,
Hinderrike-Johanna Hauer-Berghuis, Haifeng Zhou**

IB GET-Innovation Griebhammer, Rauth 39, 9074 Keutschach, www.get-innovation.com
+43 4273 93168, albrecht.grieszhammer@get-innovation.com
+43 4273 931681, haifeng.zhou@get-innovation.com

Hochschule Nordhausen, Weinberghof 4, 99734 Nordhausen
www.hs-nordhausen.de/forschung/inret/ret-con
+49 3631 420456, viktor.wesselak@hs-nordhausen.de
+49 3631 420853, hinderrike-johanna.hauer-berghuis@hs-nordhausen.de

Kurzfassung: In Österreich ist der Beitrag der Länder zur Transformation unseres Energiesystems entscheidend für die Erreichung der nationalen Klimaziele. Vor dem Hintergrund der im Einklang mit den Bundeszielen stehenden landesspezifischen Klimaziele stellt sich die Frage wie so ein Energiesystem für eine industrialisierte Region wie Kärnten aussehen kann. Dazu wurde für das Bundesland Kärnten eine systematische Energiebedarfsprognose auf der Ebene des Nutz- und Endenergieverbrauchs erstellt und darauf eine Hochrechnung der Nutz- und Endenergiebedarfe für die Jahre 2030 und 2040 unter Berücksichtigung unterschiedlicher Energieszenarien aufgebaut. In einer Potenzialanalyse wurden die realisierbaren energetischen Potenziale der erneuerbaren Energieträger Kärntens ermittelt und verbleibende Datenlücken mittels Einschätzungen von Expert:innen und darauf aufbauenden Annahmen ergänzt.

Das auf Stundenbasis zeitaufgelöste Energiesystemmodell für das Land Kärnten erlaubt einen Austausch von Energieträgern über die Landesgrenzen (Import/Export). Während die Endenergiebedarfe fest vorgegeben sind, werden die Erneuerbaren Energiequellen als Potenziale beschrieben. Die Lösung, welche erneuerbaren Energien je nach Zeitschnitt und Szenario mit welcher Leistung benötigt werden und welches Set an Sektorkopplungstechnologien sowie Speichern eingesetzt wird, ist unter Berücksichtigung der vorgegebenen Restriktionen Gegenstand einer Optimierung hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten.

Ein Energiesystem Kärnten mit dem die energie- und klimapolitischen Zielvorgaben erreicht werden ist bei einem Ausbau von Wind und PV auf insgesamt 5 TWh/a bis 2040 realistisch. Neben dieser Handlungsnotwendigkeit existieren auch Gestaltungsspielräume: Minimale Gesamtkosten ergeben sich bei ausgewogener Aufteilung der zu installierenden Leistung von Wind und PV. Die flache Ausprägung des Optimums erlaubt es von dieser Aufteilung in einem gewissen Rahmen abzuweichen – bei nur geringfügigen Mehrkosten für das Gesamtsystem.

Keywords: Energiesystemmodellierung, kostenoptimales CO₂-neutrales Energiesystem Kärnten, Resilienz, Transformationspfad, oemof

1 Motivation und zentrale Fragestellung

Österreichs Nationaler Energie und Klimaplan [1] sieht eine Steigerung des Anteils Erneuerbarer Energien bis 2030 auf 57 % des Bruttoendenergieverbrauchs bzw. auf 100 % des inländischen Stromverbrauchs vor und orientiert sich an dem Ziel der nationalen Klimaneutralität bis 2040. Entscheidend für die Erreichung dieser Ziele ist deren Umsetzung auf der Ebene der einzelnen Bundesländer. Im Einklang mit den bundesweiten Klimazielen hat Kärnten in seiner Klimaagenda [2] spezifische Zielsetzungen formuliert, welche die geografischen und wirtschaftlichen Bedingungen des Bundeslandes berücksichtigen. Wie kann ein solches klimaneutrales Energiesystem für eine industrialisierte Region wie Kärnten aussehen? Welche Technologien stehen zur Verfügung um den Energiebedarf an Strom, Wärme und Mobilität zu decken? Welche Speicher werden dafür benötigt? Und schließlich: Welche Handlungsnotwendigkeiten und Gestaltungsspielräume ergeben sich auf Landesebene für ein kostenoptimales Zusammenspiel dieser Technologien in einem resilienten Energiesystem Kärnten?

Auf der Ebene der Bundesländer wurden Energiesysteme meist, wie es auch beim "Energie-masterplan Kärnten 2025" [3] der Fall war, mit einem bilanziellen Ansatz modelliert, d.h. es wird die Abdeckung beispielsweise des Strombedarfs nur im jährlichen Mittel betrachtet. Damit können temporäre bzw. saisonale Energieüberschüsse und -defizite sowie die Kosten des Gesamtsystems nur bedingt analysiert werden. Mit dem Aufbau eines zeitaufgelösten Energiesystemmodells für das Land Kärnten können auf der Ebene des Bundeslandes einerseits die Energieflüsse und Speicherbedarfe dargestellt werden und andererseits valide Handlungsempfehlungen und eine szenarienbasierte Betrachtung von Transformationspfaden abgeleitet werden. Auch Fragestellungen aus der laufenden energiepolitischen Diskussion, beispielsweise die Auswirkungen der Zielvorgabe eines ausgeglichenen Exportsaldos im Strom während der Heizperiode („Winterstromlücke“), können anhand des Modells untersucht werden.

2 Methodik

Das Energiesystemmodell für Kärnten berechnet Szenarien auf der Basis von stündlichen Last-, Erzeugungs- und Preisprofilen. Dabei wird sowohl die Entwicklung der Energienachfra-

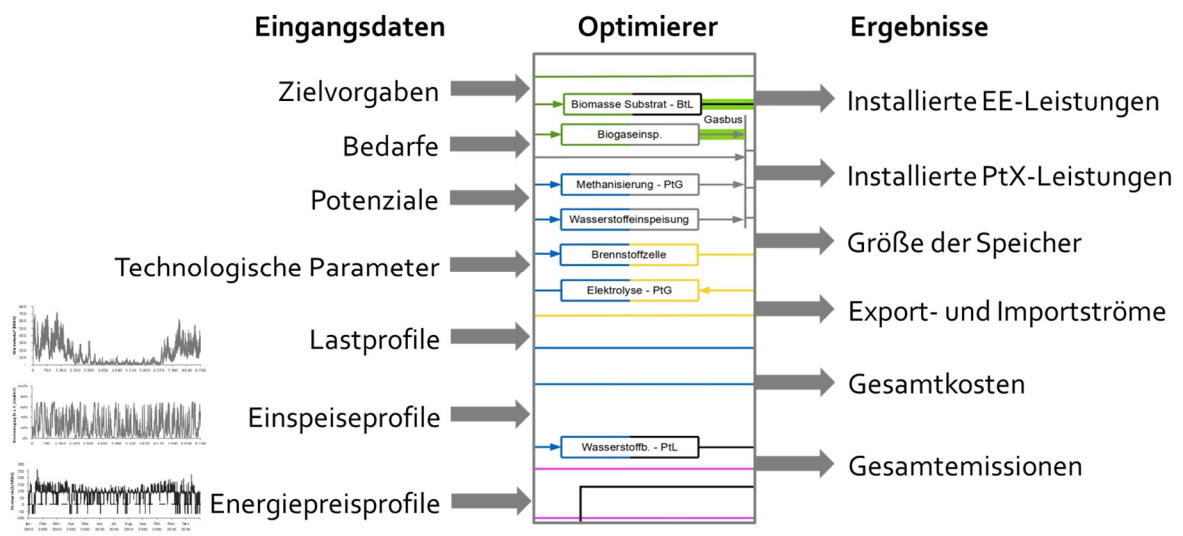


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Energiesystemmodellierung und erwartete Ergebnisse.

ge als auch die Höhe regionaler Energiepotenziale berücksichtigt. Die prognostizierten Bedarfe sind das Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen und werden dem Energiesystemmodell als Eingangsgrößen in stundenfeiner Auflösung zur Verfügung gestellt. Die lokalen Energiepotenziale finden ebenfalls in stundenfein aufgelöster Form (Windenergie, Photovoltaik und Wasserkraft) bzw. als Jahresvorrat (Biomasse) Berücksichtigung. Die Strompreisprofile werden ebenfalls mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde berücksichtigt. Restriktionen wie beispielsweise die Höhe der vorhandenen Potenziale der Erneuerbaren Energien und Zielvorgaben wie der Anteil der Erneuerbaren an der Endenergieaufbringung fließen ebenso ein wie technologische Parameter (siehe Abb.1).

2.1 Bilanzierungsraum

Zur Ermittlung der CO₂-Emissionen des Energiesystems wird – ebenso wie auf der Ebene Österreichs – das Quellenprinzip herangezogen. Die Emissionen des Flugverkehrs und des Schiffsverkehrs werden nicht betrachtet; ihre Anteile sind in Kärnten vergleichsweise unbedeutend. Ebenso wird der Transport in Rohrfernleitungen – dies betrifft insbesondere die durch Kärnten verlaufende überregionale Erdgasleitung der TAG – nicht in die Betrachtungen der Transportleistungen miteinbezogen. Der Kraftstoffbedarf wurde ausgehend von den in Kärnten anfallenden Personen- und Tonnenkilometer ermittelt. Dadurch ergeben sich Abweichungen zu den Daten der Nutzenergieanalyse [4] die auf den in Kärnten vertankten Kraftstoffen basiert und somit den Kraftstoffexport in Fahrzeugtanks beinhaltet („Tanktourismus“).

Das Energiesystemmodell erlaubt einen Austausch (Import/Export) mit den übergeordneten Verteilnetzen für Strom, Gas und Wasserstoff sowie den Import und Export von Biomasse Holz für die direkte energetische Nutzung. Schließlich ist der Import von Kraft- und Brennstoffen, sowie von synthetischen Kraftstoffen möglich. Energieautarkie war nicht Gegenstand der Untersuchungen. Auf eine Abbildung der Struktur der Verteilnetze wurde im Rahmen dieser Untersuchungen verzichtet („Kupferplatte“).

Sowohl in der Holzverarbeitenden Industrie als auch bei der direkten energetischen Verwertung wird neben Holz aus Kärntner Wäldern auch in den Bilanzierungsraum importiertes Holz eingesetzt. Für die vorliegende Studie werden neben den Potenzialen aus Kärntner Wäldern auch in der heimischen Holz- und Papierindustrie anfallende Sägenebenprodukte und Laugen aus importiertem Holz dem erneuerbaren energetischen Potenzial zugerechnet, da die bei der kaskadischen Nutzung dieses Holzes anfallenden Anteile zur energetischen Nutzung in Kärnten entstehen.

Um der überregionalen Bedeutung der in Kärnten vorhandenen Pumpspeicherkraftwerke zur Stabilisierung der Stromnetze Österreichs und seiner Nachbarländer Rechnung zu tragen wurde eine Aliquotierung des Pumpspeicherkraftwerkbestands vorgenommen. Dazu wurde die gesamte in der Regelzone der APG installierte Pumpspeicherkraftwerksleistung (Engpassleistung) mit dem Prozentsatz des Anteils des Bundeslandes Kärnten am österreichweiten Stromverbrauchs aliquotiert. Von der auf diese Art ermittelten und im Energiesystemmodell als für Kärnten verfügbar hinterlegten anteiligen Kraftwerksleistung wurde das entsprechend für Kärnten verfügbare Speichervolumen durch Multiplikation der Engpassleistung mit der inversen C-Rate des gesamten Kärntner Pumpspeicherkraftwerkbestands bestimmt. Somit sind Bestand und Potenziale nur anteilig berücksichtigt. Das durch den natürlichen Zufluss der

Pumpspeicherkraftwerke verursachte Regelarbeitsvermögen bleibt von dieser Aliquotierung unberührt und wird vollständig dem Kärntner Erzeugungspotenzial zugerechnet.

Die Netzkosten der Übertragungsnetze werden durch entsprechende arbeits- und leistungsmäßige Netzentgelte, die beim Bezug von Energie fällig werden, abgebildet. Die Kosten des Verteilnetzausbaus werden über eine an den Ausbau der installierten Leistungen für Wind- und PV gekoppelte Pauschale berücksichtigt.

2.2 Zielvorgaben

Im Rahmen seiner Klimaagenda [2] hat sich Kärnten eine Reihe landesspezifischer Zielsetzungen gegeben, die die Voraussetzungen des Bundeslandes berücksichtigen. So strebt Kärnten bis 2040 Klimaneutralität an. Ferner strebt Kärnten an, seinen Strombedarf 2030 zu 100 % und seinen Gesamtenergiebedarf zu 80 % aus erneuerbaren Energien zu decken. Bis 2040 sollen dann 100 % des Gesamtenergiebedarfs bilanziell aus erneuerbaren Energien stammen. Die Zielsetzungen des Landes werden in den Modellrechnungen als Restriktionen berücksichtigt. Dies bedeutet, dass nur solche Lösungen seitens der Optimierungsrechnung verfolgt werden, die diese Vorgaben einhalten. Die Zielwerte für die Treibhausgasemissionen umfassen nur energiebedingte Emissionen, d.h. nichtenergetische Emissionen von Landwirtschaft und (Zement-)industrie, die Wirkung von F-Gasen oder die Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft sind nicht berücksichtigt.

2.3 Energiebedarfsprognose

Der zukünftige Energiebedarf hat über seinen Umfang und seine Struktur einen wesentlichen Einfluss auf die Ausgestaltung von Transformationspfaden. Daher wurde für das Bundesland Kärnten eine systematische Energiebedarfsprognose auf der Ebene des Nutz- und Endenergieverbrauchs in den Sektoren Private Haushalte, Produzierender Bereich, Öffentliche und Private Dienstleistung, Landwirtschaft sowie Transport erstellt. Ausgangspunkt waren die sektoralen Nutzenergiebedarfe Kärntens 2019, ihre anteilige Bereitstellung durch unterschiedliche Energiewandler sowie deren Wirkungsgrade. Für 2019 liegen zahlreiche kärntenspezifische Daten seitens der Statistik Austria vor [4]. In Einzelfällen mussten Bundesdaten auf Kärnten heruntergerechnet werden.

Bei der Prognose des Energiebedarfs für die Jahre 2030 und 2040 können unterschiedliche Szenarien unterschieden werden (vgl. Abschnitt 3), je nachdem welche Veränderungsbereitschaft zugunsten des Klimaschutzes vorausgesetzt wird, welche Rolle Wasserstoff in einem zukünftigen Energiesystem beigemessen wird oder welchen Anteil Verbrennungsmotoren im Transport 2040 noch haben. Das hier vorgestellte Basisszenario geht von einer mittleren Veränderungsgeschwindigkeit zugunsten des Klimaschutzes aus. Das betrifft sowohl die Sanierungsraten von Wohn- und Gewerbebauten, als auch die Nutzung von Sektorkopplungstechnologien im Bereich der Raumwärme oder bei der Bereitstellung von Prozesswärme. Im Mobilitätsbereich wurde von einer nur geringen Bereitschaft für Verhaltensänderungen ausgegangen. Aufgrund der langsamen Substitution von Verbrennungsmotoren verbleibt auch im Jahr 2040 noch ein erheblicher Bedarf an kohlenstoffbasierten Kraftstoffen. Tendenziell wird strombasierten Lösungen der Vorzug vor synthetischen Energieträgern gegeben, Wasserstoff wird nur stofflich genutzt. Und schließlich finden keine Strukturveränderungen im Produzierenden Bereich statt bei einem moderaten wirtschaftlichen Wachstum.

2.4 Potenzialanalyse

Die Potenzialanalyse basiert auf aktuellen Daten für das Bundesland Kärnten und einschlägiger Literatur. Für die einzelnen erneuerbaren Energiequellen und -träger wurden die jeweils realisierbaren Potenziale ermittelt. Etwaig vorhandene Wissenslücken wurden – unter Rückgriff auf Experteneinschätzungen – mit plausiblen Annahmen ergänzt. Die Potenzialanalyse berücksichtigt neben technischen und wirtschaftlichen Aspekten auch die ökologische Nachhaltigkeit und diskutiert außerdem Aspekte der Ernährungssicherung und der sozialen Akzeptanz. Gesamtgesellschaftliche Verhandlungsprozesse, welche im Zuge der Erstellung einer Energiestrategie nötig sind, können dadurch jedoch nicht vorweggenommen werden.

Das realisierbare Windkraftpotenzial wurde aus bereits vorhandener Literatur [5] und ohne Annahme etwaiger politischer Beschränkungen ermittelt. Es berücksichtigt bereits vorhandene Landnutzung (Ausschluss von Schutzgebieten, Siedlungen und Verkehrswegen), Annahmen zu möglichen potenziellen Landnutzungskonflikten im subalpinen und alpinen Raum (multiple Nutzungsinteressen wie z. B.: Skitourenrouten, extensive Almnutzung) sowie sinnvolle ökologische Auflagen (z. B. Abschaltungen wegen Vogelzug) [6] - [8]. Die Flächenleistungsdichte zur Ermittlung des Windkraftpotenzials wurde konservativ mit 175 kW/ha angesetzt [5].

Das Photovoltaikpotenzial wurde getrennt nach Freiflächen- und Dachflächenpotenzial ermittelt. Für Freiflächen-PV wurden Flächen mit hoher Globalstrahlung [9], geringer Hangneigung und unter 2.000 m Seehöhe [10] räumlich verschnitten. Zusätzlich wurden im Rahmen einer GIS-Analyse ökologische und raumordnerische Kriterien herangezogen, um Landnutzungskonflikte auszuschließen (z.B. bebauten Gebiete, Naturschutzgebiete, ökologisch hochwertige Flächen, Wildtierkorridore, Gewässer, Verkehrsflächen, Gefahrenzonen, bzw. weitere potenzielle Landnutzungsinteressen) [7] [8] [11] - [17]. Für die Belegung von Potenzialflächen für Freiflächen-PV wurde eine Flächenleistungsdichte von 800 kWp/ha angesetzt (bzw. für Agri-PV 267 kWp/ha). Die Flächenleistungsdichte basiert auf dem Flächenbedarf einer Standard PV-Anlage. Zur Ermittlung des PV-Dachflächenpotenzials wurde auf bereits vorhandene Auswertungen zum Solarpotenzialkataster der Kärntner Landesregierung zurückgegriffen [18]. Um auf das realisierbare PV-Dachflächenpotenzial zu schließen wurden von dieser Grundgesamtheit, angelehnt an [19], technische, ökologische, wirtschaftliche und soziale Abschläge sowie die Flächenkonkurrenz zu Solarthermieanlagen berücksichtigt. Solarthermie wurde mit einem Anteil von 2 % (analog zu [19]) des gesamten PV-Dachflächenpotenzials angenommen, da der Ausbau der Solarthermie gegenüber Photovoltaik eine untergeordnete Rolle spielt.

Die Wasserkraft ist in Kärnten bereits weitgehend erschlossen. Das Gesamtpotenzial umfasst den Bestand an Lauf-, Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken sowie ein Restpotenzial aus der Neuerschließung und Optimierung bestehender Anlagen. Neuerschließungspotenziale für die Stromerzeugung wurden unter Berücksichtigung ökologischer Schutzgebiete und der bereits erschlossenen Fließstrecken konservativ eingeschätzt (vgl. [20] - [29]). Optimierungspotenziale ergeben sich aus Effizienzsteigerungen und Repowering bestehender Anlagen [21]. Die in Kärnten vorhandenen Pumpspeicherkraftwerke haben eine überregionale Bedeutung für die Netzstabilisierung. Das verfügbare Pumpspeicherpotenzial für das Bundesland Kärnten wurde anhand des Kärntner Anteils am österreichweiten Stromverbrauch aliquotiert angenommen (vgl. Abschnitt 2.1). Ausbaupotenziale liegen insbesondere in der Erhöhung der Engpassleistung und dem Umbau von Speicherkraftwerken zu Pumpspeicherkraftwerken. Neubauten spielen eine untergeordnete Rolle.

Das Bioenergiepotenzial wurde zusammengesetzt aus unterschiedlichen Rohstoffen ermittelt: Das Bioenergiepotenzial aus Holz inkludiert den bereits vorhandenen heimischen Holzeinschlag, Reststoffe aus der Säge- Platten- und Papierindustrie, sonstiges Holzaufkommen und ein zusätzlich mobilisierbares Holzeinschlagspotenzial aus der Differenz zwischen bestehender Nutzung und vorhandenem Zuwachs inklusive zusätzlicher Durchforstungsreserven [30] - [37]. Zur Ermittlung der Energiepotenziale aus Holz wurde angenommen, dass bei kaskadischer Nutzung ca. 58 % der gesamten Holzrohstoffe für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen [30]. Die mittleren Heizwerte der Hauptbaumarten wurden gewichtet berücksichtigt [38] - [40]. Zur Ermittlung der Bioenergiepotenziale aus Energiepflanzen wurden die landwirtschaftlichen Flächen für Acker- und Dauergrünland in Kärnten analysiert [41]. Um Konflikte mit Ernährungssicherung und Biodiversität zu minimieren wurde zur Einschätzung des realisierbaren Potenzials eine maximale Nutzung von 10 % der vorhandenen Ackerflächen für die Energiepflanzenproduktion angenommen [42] [43]. Erntemengen und Biogaserträge wurden anhand von Kennzahlen berechnet [44] - [46]. Für die Bioenergiegewinnung aus Grassilage wurde eine maximale Nutzbarkeit von 3 % der vorhandenen Grünlandfläche angenommen [43] [46]. Die potenzielle Bioenergiegewinnung aus tierischen Reststoffen (Gülle, Mist) wurde auf Basis der Tierbestände in Betrieben mit über 100 Großvieheinheiten (GVE) abgeschätzt [47] - [49], wobei maximal 50 % der Reststoffe als für die Bioenergieproduktion verfügbar angenommen wurden (Nutzungskonkurrenz zur Düngung) [50]. Bioabfälle, Landschaftspflegegras, Stroh und biogene Abfälle aus Haushalten wurden ebenfalls berücksichtigt und in potenzielle Energieerträge umgerechnet [41] [45] [46] [51] - [55]. Das Potenzial für Biokraftstoffe aus Reststoffen (Biodiesel, Bioethanol) wurde auf Basis nationaler Daten anteilig für Kärnten berechnet [56] - [59].

2.5 Energiesystemmodellierung

Das Energiesystemmodell Kärnten unterscheidet acht unterschiedliche Energieverteilinfrastrukturen („Busse“). Gas- und Strombus bilden das jeweilige Verteilnetz Kärntens ab mit einer entsprechenden leistungsmäßigen Kopplung an die übergeordneten Übertragungsnetze der TAG (Gas) und APG (Strom). Der Fernwärmebus fasst die dezentralen Nah- und Fernwärmenetze in den Kärntner Städten und Gemeinden zusammen. Öl-, Kraftstoff-, und Holzbus repräsentieren die Verteilinfrastruktur für Kraft- und Brennstoffe. Der Wasserstoffbus beschreibt eine noch aufzubauende Verteilinfrastruktur für Wasserstoff und deren zukünftigen Anschluss an ein übergeordnetes Übertragungsnetz (geplant ab 2030). Der Biobus repräsentiert die (lokale) Verteilinfrastruktur für Biomasse-Substrat, das zur Gewinnung von Kraftstoffen oder Biogas eingesetzt werden kann.

Das Energiesystemmodell Kärnten arbeitet mit einer quasi-volkswirtschaftlichen Optimierung der Kosten für die Deckung der energetischen Bedürfnisse Kärntens. „Quasi-volkswirtschaftlich“ deshalb, weil zwar eine volkswirtschaftliche Betrachtung des Energiesystems mit seinen Bereichen Erzeugung, Sektorkopplung und Speicherung stattfindet, aber die Verknüpfungen mit anderen Sektoren der Volkswirtschaft, nur teilweise oder gar nicht abgebildet werden. Dabei wird zwischen Energieträgern unterschieden, die innerhalb des Bilanzierungsraums erzeugt werden (wie z.B. regionale Biomasse, Windstrom oder Biogas) und Energieträgern, die nach Kärnten eingeführt werden (wie z.B. Erdgas, Mineralölprodukte oder Importholz). Diese Unterscheidung ermöglicht eine Bewertung unterschiedlicher Transformationspfade hinsichtlich ihrer regionalen Wertschöpfungspotentiale.

In die Kosten gehen sowohl die Investitions- (CAPEX) und Betriebskosten (OPEX) als auch die saldierten Kosten für den überregionalen Energieaustausch ein. Für die Berechnung der Annuitäten werden die Investitionskosten (CAPEX) zusammen mit der technologiespezifischen Abschreibungsdauer und einem Zinssatz herangezogen.

Das Energiesystem Kärnten wird mit dem offenen Programmpaket oemof modelliert [60]. Das Akronym oemof steht für open energy modelling framework und ist eine in Python implementierte open-source Simulationsumgebung für Energiesysteme. Zur Optimierung des Modells wird der unter der E-clipse Public License 2.0 veröffentlichte Solver cbc verwendet [61]. Cbc steht für Computational Infrastructure for Operations Research (COIN-OR)-Branch-and-Cut.

2.6 Grenzen der Modellierung

Durch die Kostenoptimierung entsteht ein neues Energiesystem, das u.a. an die schwankenden Energiepreise (hier: Strompreis) angepasst ist. Die dadurch möglichen Arbitragegeschäfte wirken ihrer Ursache – den Strompreisschwankungen – entgegen. Eine derartige Rückkopplung ist im Modell nicht berücksichtigt. Entsprechendes gilt für das Auftreten von negativen Strompreisen.

Reale Kraftwerke weisen lastabhängige Wirkungsgrade auf. Bislang werden derartige Effekte nicht berücksichtigt.

Da im vorgestellten Energiesystem die Einzelanlagen zu einem Gesamtblock zusammengeführt wurden – z.B. alle biomassebasierten Heizwerke in nur einem Block – wurde auf die Implementierung von Haltezeiten verzichtet.

Im Energiesystem Kärnten sind ausschließlich großtechnische Solarthermie- und PV-Anlagen modelliert. Tatsächlich werden aber verstärkt dezentrale Eigenerzeugungsanlagen von beiden Technologien zur unmittelbaren Deckung des Nutzenergiebedarfs gebaut und in Kombination mit dezentralen Energiespeichern betrieben. Dies hat Auswirkungen auf die Endenergienachfrage und müsste perspektivisch über veränderte Lastgänge berücksichtigt werden.

Durch die Granularität der Modellierung auf der Ebene des gesamten Bundeslandes Kärnten können aus den Ergebnissen der Energiesystemmodellierung keine Ausbaunotwendigkeiten für Verteilnetze und nur eingeschränkt für die Übertragungsnetzebene abgeleitet werden.

Und schließlich bildet das Energiesystemmodell zwar Kosten aber keine Preise ab, da Steuern und Abgaben einerseits sowie Zuschüsse und Subventionen andererseits nicht berücksichtigt werden. Die Ergebnisse sollten daher nicht zur Grundlage für oder gegen eine Investitionsentscheidung gemacht werden und ersetzen keine betriebswirtschaftliche Kalkulation.

3 Szenarien und Sensitivitäten

Wie bereits im Abschnitt 2.3 erwähnt, wurden bedarfsseitig im Modell unterschiedliche Szenarien hinterlegt, die sich jeweils an den energie- und klimapolitischen Zielen Kärntens orientieren: Neben dem bereits erwähnten, eher konservativ ausgerichteten „Basisszenario“ ist das „Innovative Szenario“ von einer hohen Bereitschaft geprägt, innovative Technologien im Sektorkopplungs- und Umwandlungsbereich einzusetzen. Neben strombasierten Lösungen wird Wasserstoff sowohl im Bereich der Prozesswärme als auch im Schwerlastverkehr als Energieträger eingesetzt.

Auf den Szenarien aufbauend können mit Hilfe des Energiesystemmodells Sensitivitätsrechnungen durchgeführt werden. Dabei handelt es sich um Untersuchungen, die – ausgehend von den für die beiden erwähnten Szenarien gewonnenen Optimierungsergebnissen – als kritisch angesehene Parameter wie Börsenstrompreis, das Verhältnis von installierter Wind- zu PV-Leistung oder die Wasserführung der Kärntner Flüsse variieren. Die Reaktionen des Energiesystemmodells liefern Aussagen über die Resilienz des Energiesystems, d.h. seine Fähigkeit mit veränderten Rahmenbedingungen zurechtzukommen.

4 Ergebnisse

4.1 Energiebedarfsprognose

Im Ergebnis wird die Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs bis 2040 vor allem durch die Erschließung von Effizienzpotenzialen im Bereich der Privaten Haushalte sowie des Verkehrssektors beeinflusst. Im Bereich der Privaten Haushalte ist dies zum einen auf eine Reduzierung des Raumwärmebedarfs durch energetische Sanierungsmaßnahmen und zum anderen auf die Einbindung von Umgebungswärme mittels Wärmepumpen zurückzuführen. Im Verkehrssektor wirkt sich die Einführung der Elektromobilität massiv auf den Endenergieverbrauch aus. Insgesamt erhöht sich der Bedarf an Strom als Endenergieträger um ca. 35%. Der Bedarf an Strom als Nutzenergie, das sind die klassischen Stromanwendungen, bleibt nahezu gleich. In den beiden Sankey-Diagrammen am Ende des Berichts sind die Energiebedarfe des Jahres 2019 (Abb. 2) und des Jahres 2040 (Abb. 3) im Basisszenario gegenübergestellt. Aus ihnen kann der Endenergiebedarf und dessen Einsatz zur Bereitstellung der Nutzenergien, der über die entsprechenden Energiewandler erfolgt, entnommen werden. Die Kreisdiagramme neben den einzelnen Nutzenergien zeigen die Aufteilung der entsprechenden Nutzenergie auf die einzelnen Verbrauchssektoren.

4.2 Potenzialanalyse

Die Abschätzung von Potenzialen für die unterschiedlichen Möglichkeiten der Nutzung von erneuerbarer Energie stellt eine wichtige Arbeitsgrundlage für die evidenzbasierte strategische Planung und Umsetzung der Energiewende dar. In dieser Potenzialanalyse werden erstmals die realisierbaren energetischen Potenziale der Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen und erneuerbaren Energien für das Bundesland Kärnten dargestellt. Mit einem energetischen Gesamtpotenzial von 28 bis 30 TWh pro Jahr lässt sich der bis 2040 prognostizierte Energiebedarf des Bundesland Kärntens aus erneuerbarer Energie decken. Das ist grundsätzlich eine gute Nachricht. Mit einer Differenz von 6 bis 10 TWh zwischen Bedarfen und Potenzialen existiert ein Gestaltungsspielraum für den gesamtgesellschaftlichen Verhandlungsprozess bezüglich des konkreten Ausbaus von erneuerbaren Energien.

Das mit Abstand größte energetische Potenzial ist für das Bundesland Kärnten durch die Erzeugung von Strom mittels Photovoltaik gegeben. Es wird empfohlen den Photovoltaikausbau durch eine strategische Flächenplanung zu begleiten. Dies betrifft insbesondere den Ausbau der Freiflächenphotovoltaik, für die im Sinne einer ökologisch nachhaltigen Umsetzung der Energiewende standortangepasste Umweltkonzepte erarbeitet werden sollten. Ebenfalls maßgebliche Potenziale für die Energieerzeugung in Kärnten sind durch den Ausbau der Windkraft, die Optimierung in der Wasserkraft und durch die energetische Nutzung von Holz gegeben.

Auch hier wird eine begleitende strategische Ausbauplanung empfohlen für die zunächst noch bestehende Daten- und Wissenslücken durch flächendeckende, robuste, räumlich verortete und öffentlich zugängliche Grundlagendaten zu füllen sind. Nicht zu vernachlässigen sind auch die energetischen Potenziale welche sich aus der Biomasse von Energiepflanzen, Grassilage und sonstigen Reststoffen ergeben. Unter den aktuellen Ernährungsgewohnheiten in Kärnten sind diese Potenziale auf den ersten Blick begrenzt. Es scheint jedoch lohnend über in der Gesellschaft stattfindende Veränderungen der Ernährungsgewohnheiten zu reflektieren: so ergeben sich aus einem reduzierten Fleischkonsum zusätzliche Potenziale für die Energieproduktion aus Biomasse.

4.3 Energiesystemmodellierung

Der Aufbau des bestehenden Energiesystems Kärnten kann aus dem Sankey-Diagramm für das Jahr 2019 (Abb. 4, am Ende des Berichts) entnommen werden. In einem zukünftigen Energiesystem Kärnten werden zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele die bisherigen Importe fossiler Energieträger entweder durch im Bilanzraum aufgebrauchte oder durch importierte Erneuerbare Energien abgelöst. Eine mögliche Aufbringung zur Deckung der im Abschnitt 4.1 vorgestellten Endenergiebedarfe des Jahres 2040 ist aus Abbildung 5 ersichtlich:

Der Anteil der importierten Energie an der gesamten Energieaufbringung sinkt auf ca. 15%. In der Erzeugung werden die Restpotenziale von Biomasse und Wasserkraft ausgeschöpft. Ein signifikanter Zubau an Erzeugungsleistung mit einem Ertrag von insgesamt 5 TWh erfolgt bei Wind und PV. Die hier beispielhaft vorgestellten Kennzahlen beschreiben das Kostenoptimum im Basisszenario. Es ist bezüglich der Aufteilung zwischen den beiden Energiequellen Wind und PV flach ausgeprägt. Dadurch eröffnet sich ein gewisser Gestaltungsspielraum — bei nur geringfügigen Mehrkosten für das Gesamtsystem. Die Biomasse Holz wird in der Fernwärmebereitstellung durch Wärmepumpen in Kombination mit Wärmespeichern vollständig abgelöst und zur Deckung des Kraftstoffbedarfs herangezogen. Mit dem Austausch von Strom und Wasserstoff über die Grenzen des Bilanzraumes hinweg werden Bedarfs- bzw. Erzeugungsschwankungen ausgeglichen oder Arbitragegeschäfte durchgeführt. Diese minimieren zusammen mit Exporterlösen die Kosten des Kärntner Energiesystems. Der gesamte in den Kärntner Netzen transportierte Strom verdoppelt sich von knapp 6 TWh auf über 12 TWh.

In Tabelle 1 sind ausgewählte Kennzahlen der beiden Energiesysteme gegenübergestellt.

Tabelle 1: Kennzahlen des Energiesystems

		Referenz 2019	Beispiel 2040 B
Endenergiebedarf	TWh	23,1	16,7
CO ₂ -Emissionen	Mio. t	2,6	0
Anteil Erneuerbare Energien	%	55	108
Exportsaldo	TWh	-11,3	-0,2
- davon Strom	TWh	-0,19	+0
Gesamtkosten	Mrd. €	1,37	1,24
- davon Importkosten	Mrd. €	0,6	0,21
Biomasse Holz	TWh	6,8	7,1
Wasserkraft	MW	784	822
Wind	MW	1	1 801
PV	MW	113	930

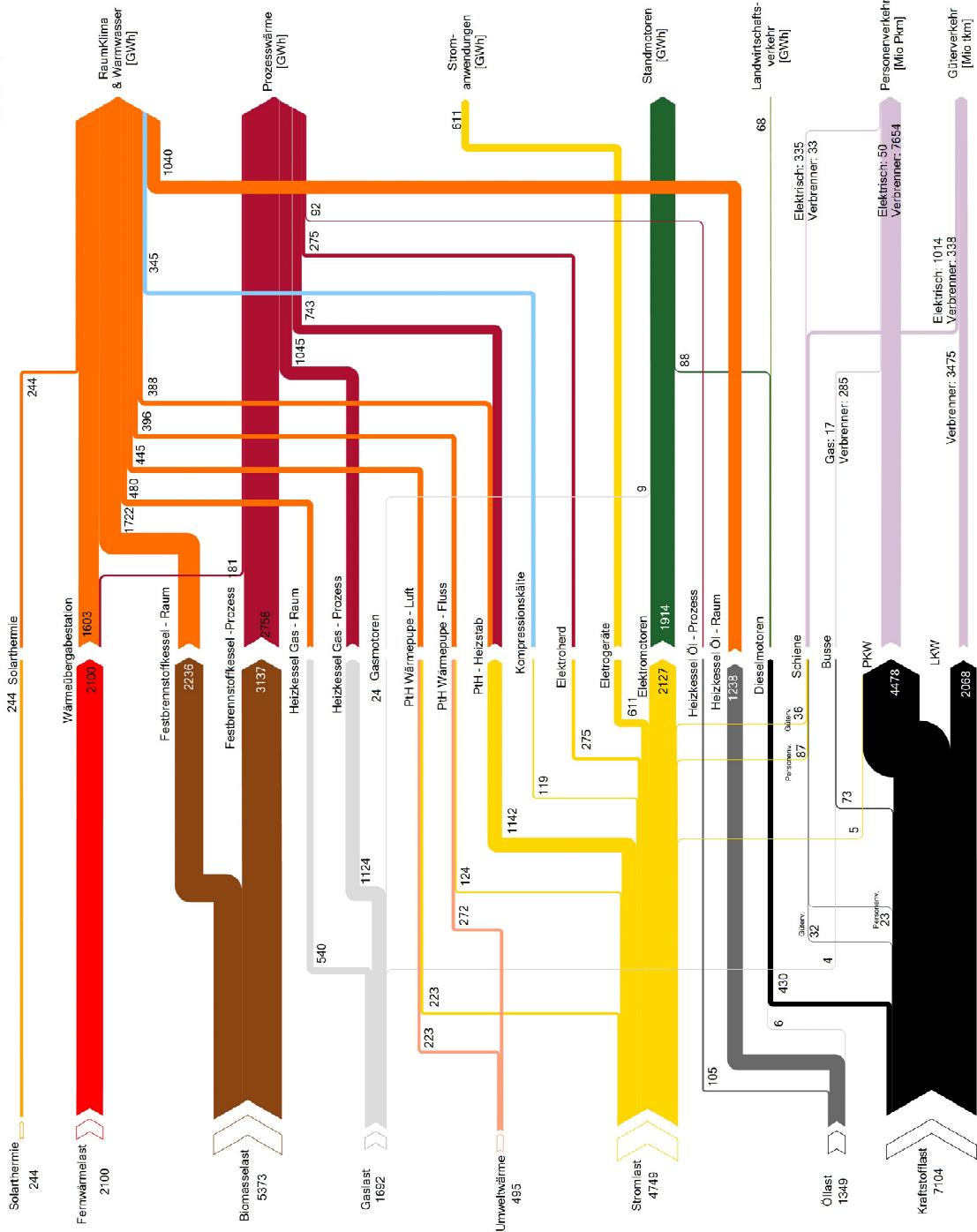
Energieflussdiagramm-Bedarfe



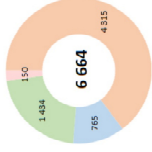
Nutzenergie
14448 GWh
13201 Mio Xkm

Kärnten 2019

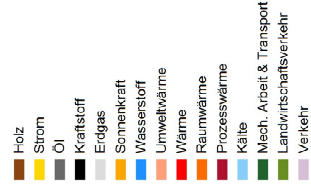
Endenergie*
23106 GWh



Nutzenergieverbrauch
nach Sektoren
[GWh]

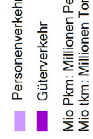


Legende Energieflüsse



*inkl. Solarthermie
und Umweltwärme

Legende Transport



Kärnten 2019
Datenquelle: ESK A13.2
Version: 2
04.02.2025

Abbildung 2: Energiebilanz für die Nutzenergiebereitstellung in Kärnten für das Jahr 2019

Energieflussdiagramm-Bedarfe

Kärnten 2040B

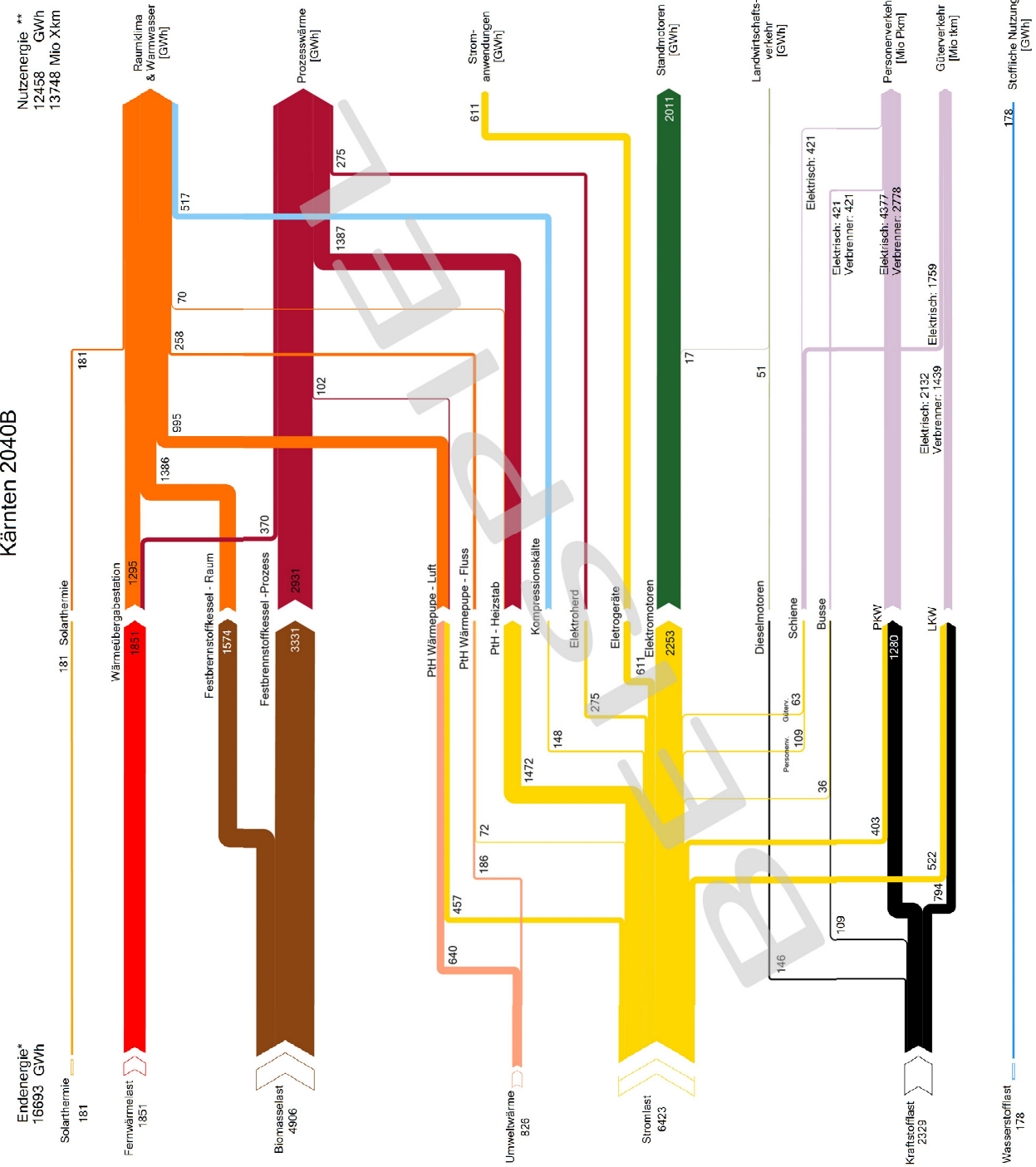


Abbildung 3: Energiebilanz für die Nutzenergiebereitstellung in Kärnten für das Jahr 2040

Energieflussdiagramm-Aufbringung

Kärnten 2019

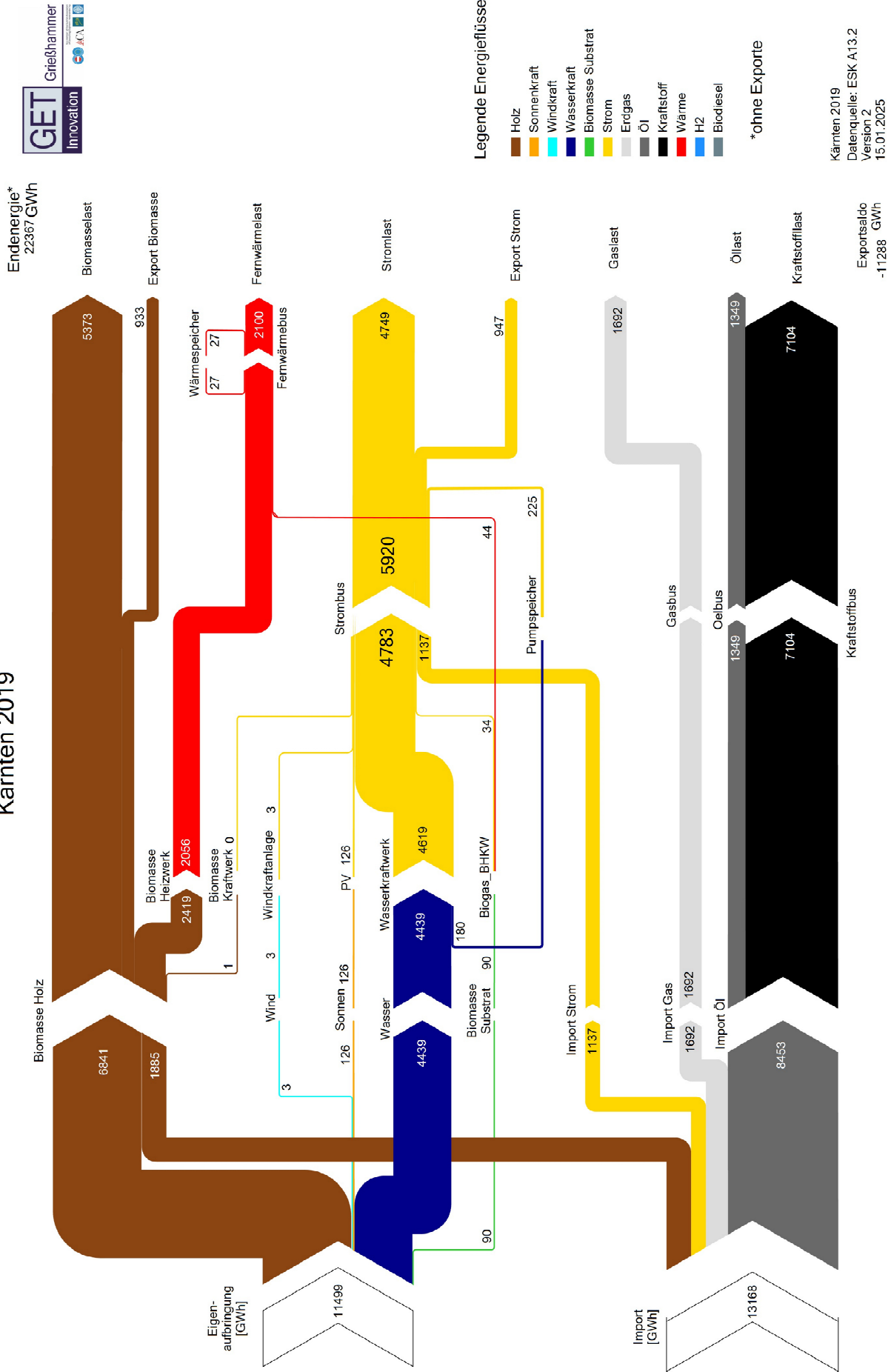


Abbildung 4: Energiebilanz Kärnten für das Jahr 2019

Energieflussdiagramm-Aufbringung

Kärnten 2040B

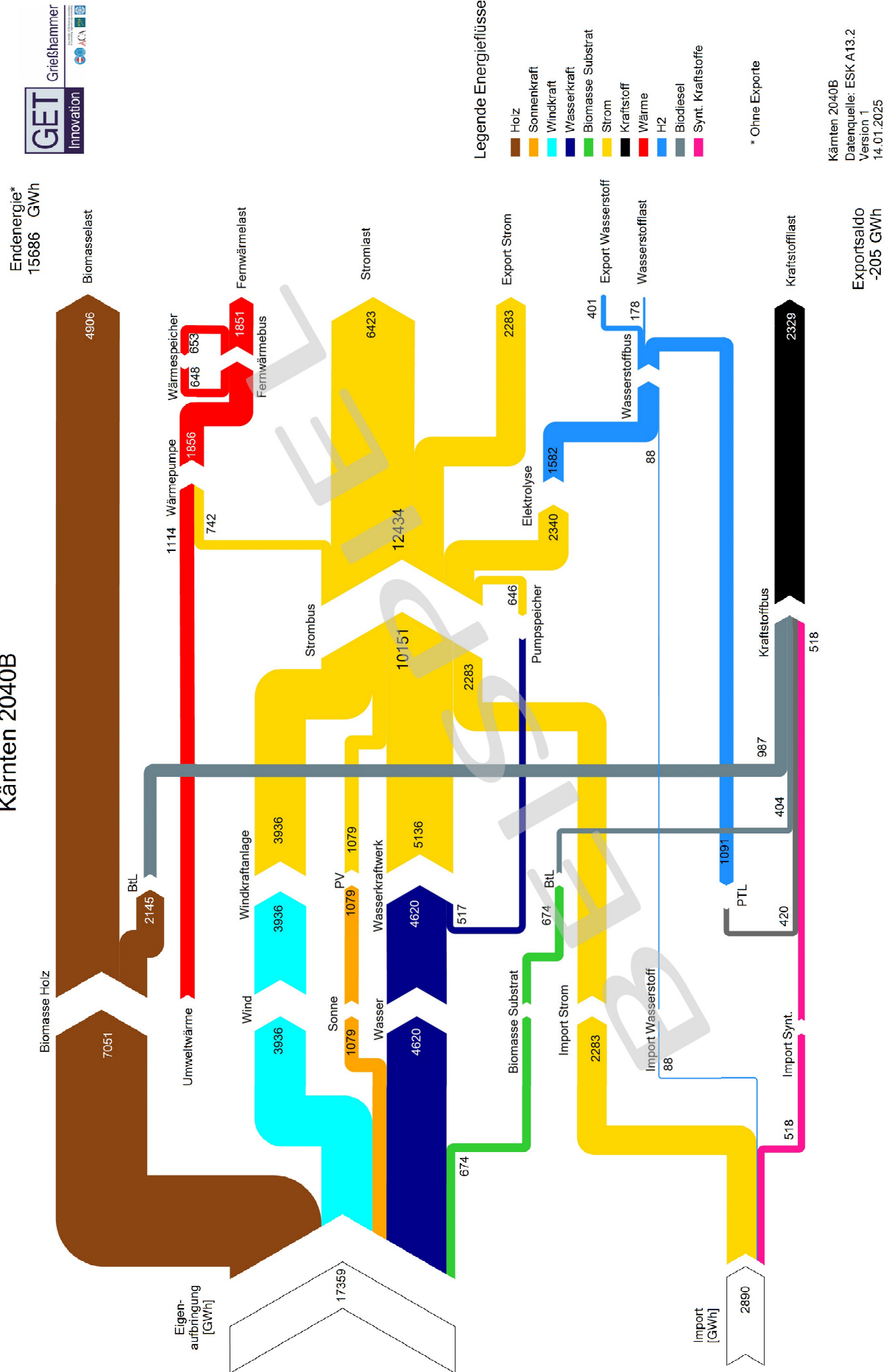


Abbildung 5: Beispiel einer Energiebilanz Kärnten für 2040 im Basisszenario

5 Referenzen

- [1] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, „Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich, Periode 2021-2030,“ Wien, 2023.
- [2] Amt der Kärntner Landesregierung (Hg.), „Klimaagenda Kärnten. Aktualisierung des zweiten Zwischenberichts,“ Klagenfurt, 2023.
- [3] Abteilung 8 - Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz (Hrsg.), „emap2025 - Energiemasterplan Kärnten,“ Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt, 2014.
- [4] Statistik Austria, „Nutzenergieanalyse Kärnten ab 1993 - 2022. NEA_2019,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/nutzenergieanalyse>. [Zugriff am 11 04 2024].
- [5] H. Winkelmeier und F. Pfannhofer, „Österreichs Windpotential bei unterschiedlichem Ausmaß der Flächennutzung,“ Eigenverlag, Friedburg, 2023.
- [6] Land Kärnten, Abteilung 3 - Gemeinden, Raumordnung und Katastrophenschutz, „Realraumanalyse Kärnten,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a944a696-767e-408f-a716-49ccf5da866d#resources>. [Zugriff am 28 02 2024].
- [7] Land Kärnten, Abteilung 7 - Wirtschaft, Tourismus und Mobilität, „Intermodales Verkehrsreferenzsystem (GIP.at) Straßengraph Kärnten. Verkehrsnetz Kärnten in EPSG: 31258,“ 2022b. [Online]. Available: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/4cdb8791-fbe7-480d-90b8-2e50008ab0bd#resources>. [Zugriff am 28 02 2024].
- [8] Land Kärnten, Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination, „Naturschutzgebiete Kärnten. Alle Schutzgebiet-Kategorien des Naturschutzes. Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination,“ 2024a. [Online]. Available: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/land-ktn_naturschutzgebiete-karnten#resources.
- [9] Land Kärnten, Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination, „Solarpotential Kärnten. Klassifiziertes Solarpotenzial Dauersiedlungsraum Kärnten,“ 2014a. [Online]. Available: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/f293df4e-25b8-4c91-85ea-902c115f19ba#additional-info>. [Zugriff am 26 02 2024].
- [10] Land Kärnten, Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination, „Digitales Gelände- und Oberflächenmodell (5m) Kärnten. Digitales 5m-Geländemodell Kärnten in EPSG: 31258 (Bundesmeldenetz M31) - Auflösung 5m aus Airborne Laserscanning Aufnahmen (2006-2015),“ 2015. [Online]. Available: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a188992b-4071-45c3-99ce-65662395ebe6#additional-info>. [Zugriff am 26 02 2024].
- [11] Land Kärnten, Geodatensätze aus dem Flächenwidmungsplan: "Bauland_Industriegebiet_Gewerbe", "Materialgewinnungsstätte_und_Materiallagerstätte", "Schutzstreifen_als_Immissionschutz", 2024c.
- [12] ÖVDAT, „GIP-Bahnstrecken als Feature Service,“ 2018. [Online]. Available: <https://hub.arcgis.com/datasets/7b27b6aec4094511b09a85e124599819/explore>. [Zugriff am 28 02 2024].
- [13] Land Kärnten, Abteilung 12 - Wasserwirtschaft, „Überflutungsflächen und Gefahrenzonen Kärnten (OGC Geopackage),“ 2024d. [Online]. Available: <https://www.data.gv.at/katalog/en/dataset/uberflutungsflächen-und-gefahrenzonen-karnten#additional-info>.
- [14] BirdLife Österreich, „Kriterien für eine naturverträgliche Standortsteuerung für Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Kriterien für die Errichtung und den Betrieb einer naturverträglichen Photovoltaik-Freiflächenanlage. Version 2.0,“ 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/356054274_Kriterien_fur_eine_naturvertragliche_Standortsteuerung_fur_Photovoltaik-Freiflächenanlagen_und_Kriterien_fur_die_Errichtung_und_den_Betrieb_einer_naturvertraglichen_Photovoltaik-Freiflächenanlage_Im_A. [Zugriff am 29 02 2024].

- [15] C. Keusch, G. Egger, H. Kirchmeir, M. Jungmeier, W. Petutschnig, S. Glatz und S. Aigner, „Aktualisierung der Roten Liste gefährdeter Biotoptypen Kärntens,“ Zoologisch-Botanische Datenbank, Kärntner Naturschutzberichte, Band 2012_13, pp. 36-69, 2012.
- [16] Land Kärnten, Abteilung 8 - Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination, „Lebensräume und Biotope Kärnten (INSPIRE). Vereinfachte Umsetzung als Geopackage in der Projektion EPSG: 31258,“ 2024b. [Online]. Available: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/land-ktn_biotope-karnten#resources. [Zugriff am 29.02.2024].
- [17] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität und Technologie, „Aktuelle Version der Lebensraumkorridore Österreich (Version 2022. 10-16). Geopackage-Format,“ 2022. [Online]. Available: <https://lebensraumvernetzung.at/de/geodata>. [Zugriff am 23.04.2024].
- [18] Land Kärnten, Abteilung 8, Aus: Wesselak V. (2022), „Energiebedarfe Kärnten - Last und Einspeiseprofile Kärnten - Energiepotenziale Kärnten. Mündliche und schriftliche Mitteilungen,“ Institut für Regenerative Energietechnik, Nordhausen, 2022.
- [19] H. Fechner, „Ermittlung des Flächenpotenzials für den Photovoltaik-Ausbau in Österreich: Welche Flächenkategorien sind für die Erschließung von besonderer Bedeutung, um das Ökostromziel realisieren zu können,“ 2020. [Online]. Available: https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Studien/2020/PV-Studie_2020.pdf. [Zugriff am 22.04.2024].
- [20] Umweltbundesamt, „Persönliche Mitteilungen des Umweltbundesamts vom 02.05.2024,“ 2025.
- [21] S. Böhmer, C. Brendle, G. Eisenkölb, M. Gössl, D. Guggenberger, S. Nemetz, I. Schindler, S. Schindler, A. Storch, D. Trauner und R. Wasserbauer, „Erzeugung von erneuerbarem Strom und Biomethan - Szenarien für 2030 und 2040,“ Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2023.
- [22] Verbund Hydro Power AG, „Die Wasserkraftwerke in Kärnten,“ Wien, 2013.
- [23] OMT community, „Open Infrastructure Map,“ [Online]. Available: <https://openinframap.org/>.
- [24] Kelag AG, „Energie aus Wasserkraft,“ [Online]. Available: <https://www.kelag.at/ueber-kelag/wasser.html>.
- [25] G. Berger, J. Klausner, S. Leitner und I. Preiss, „Sanierung, Revitalisierung und Modernisierung von Kleinwasserkraftwerken,“ Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Bd. Vol. 61, pp. 35-44, 2009.
- [26] Verbund, „Grüne Batterie: Neues Kavernenkraftwerk auf 2.300 Meter Seehöhe,“ 2021. [Online]. Available: www.verbund.com.
- [27] N. Nackler, „KW Koralpe: Upgrading zum Pumpspeicherkraftwerk,“ 2015. [Online]. Available: https://www.hidroinstitut.si/files/2015/02/Aufsatz_mBilder.pdf.
- [28] Österreichs E-Wirtschaft, „Kraftwerksprojekte - Wasserkraft,“ [Online]. Available: <https://oesterreichsenergie.at/kraftwerksprojekte/wasserkraft>.
- [29] Kelag AG, „Kelag Kraftwerk Koralpe: Entleerung des Speichers Soboth im Herbst 2023,“ 2023. [Online]. Available: <https://presse.kelag.at/news-kelag-kraftwerk-koralpe-entleerung-des-speichers-soboth-im-herbst-2023?id=185834&menueid=27565&l=deutsch>.
- [30] L. Strimitzer, B. Wlcek und K. Nemesthothy, „Holzströme in Österreich,“ 2017, 2018, 2019, 2020, 2021. [Online]. Available: https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/energieholz/holzstr_oesterr.html. [Zugriff am 11.04.2024].
- [31] Bundesministerium Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, „Holzeinschlagsmeldung für das Jahr 2017, Holzeinschlagsmeldung für das Jahr 2018, Holzeinschlagsmeldung für das Jahr 2019, Holzeinschlagsmeldung für das Jahr 2020, Holzeinschlagsmeldung für das Jahr 2021,“ 2017, 2018, 2019, 2020, 2021. [Online]. Available: <https://info.bml.gv.at/themen/wald/wald-in-oesterreich/wald-und-zahlen/Holzeinschlag.html>. [Zugriff am 12.03.2024].
- [32] BML Wien - Österreichische Waldinventur 2016-2021; BFW Fast Ossiach; Landesforstdirektion Kärnten; Landwirtschaftskammer Kärnten; Pro Holz Kärnten; Verband der Holzindustrie; Wald und Holz in Kärnten - Kärntens Forst- und Holzwirtschaft in Zahlen, A. 1. - L. u. F. Amt der Kärntner Landesregierung, Hrsg., Wolfsberg, 2024.

- [33] L. Strimitzer, Import und Export von Holzsortimenten - Energieholz Marktinformation 2022 - Teil 4, Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2022.
- [34] Bundesforschungszentrum für Wald, „Waldinventur: Waldfläche / Ertragswald (ha) / 2016-2021 / Kärnten,“ 2022a. [Online]. Available: https://waldinventur.at/?x=1660404.09331&y=6038687.39316&z=7.57015&r=0&l=1111#/map/0/r1_z/Bundesland/erg9/2. [Zugriff am 07.02.2024].
- [35] Bundesforschungszentrum für Wald, „Waldinventur: Nutzung / 2016-2021 / Kärnten,“ 2022d. [Online]. Available: https://www.waldinventur.at/?x=1486825&y=6059660&z=7.75968&r=0&l=1111#/map/0/r122_l_B/Bundesland/erg9. [Zugriff am 19.02.2024].
- [36] Bundesforschungszentrum für Wald, „Waldinventur: Zuwachs / 2016-2021 / Kärnten,“ 2022b. [Online]. Available: https://waldinventur.at/?x=1660404.09331&y=6038687.39316&z=7.57015&r=0&l=1111#/map/0/r1_z/Bundesland/erg9/2 am 07.02.2024. [Zugriff am 19.02.2024].
- [37] Landwirtschaftskammer Kärnten, Marktgespräche Biomasse - Forst. Zusatz Potentiale Energieholz, Sägerundholz, Klagenfurt, 2024.
- [38] Bundesforschungszentrum für Wald, „Waldinventur: Baumarten / 2016-2021 / Kärnten,“ 2022c. [Online]. Available: https://www.waldinventur.at/?x=1486825&y=6059660&z=7.75968&r=0&l=1111#/map/0/r22_01_A/Bundesland/erg9. [Zugriff am 19.02.2022].
- [39] J. Erhardt, „Ernteverlust im Forstbetrieb Wienerwald der ÖBF AG bei Rotbuchen-Endnutzungen,“ Hochschulschrift - Universität für Bodenkultur, Wien, 2017.
- [40] Österreichischer Biomasseverband, „Basisdaten 2023 Bioenergie - 10. Auflage,“ Eigenverlag, Wien, 2023.
- [41] Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft & Agrarmarkt Austria, „Anbau auf dem Ackerland nach Bundesländern 2019 (1) - Basis INVEKOS, Tabelle 2.1.1.5. In: Grüner Bericht 2020, Tabellenteil, Tabelle: „Tab_2020_2010105b_Anbau_Ackerland_BL_n_INVEKOS“,“ 2019, 2018, 2017. [Online]. Available: https://bab.gv.at/index.php?option=com_rsfiles&folder=Gruener_Bericht&Itemid=477&lang=de. [Zugriff am 20.02.2024].
- [42] F. Sinabell und E. Schmid, „Die Produktion von Biomasse zur energetischen Verwertung in Österreich,“ WIFO Monatsberichte, Bd. 7/2008, pp. 543 - 551, 2008.
- [43] Österreichischer Biomasseverband, „Bioenergie 2030,“ Eigenverlag, Wien, 2015.
- [44] Statistik Austria, „Agrarstrukturerhebungen - Vollerhebung 2020. In: Grüner Bericht 2023, Tabellenteil, Tabelle: „Tab_2023_3010006_AS_Verteilung_Kulturarten_BL“,“ 2020a. [Online]. Available: https://bab.gv.at/index.php?option=com_rsfiles&folder=Gruener_Bericht&Itemid=477&lang=de&filter_order_Dir=desc. [Zugriff am 20.02.2024].
- [45] Statistik Austria, „Agrarstrukturerhebungen - Vollerhebung 2020. In: Grüner Bericht 2023, Tabellenteil, Tabelle: „Tab_2020_2010105a_Anbau_Ackerland_BL_n_Statistik_Deutsch“,“ 2020b. [Online]. Available: https://bab.gv.at/index.php?option=com_rsfiles&folder=Gruener_Bericht&Itemid=477&lang=de&filter_order_Dir=desc. [Zugriff am 20.02.2024].
- [46] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., „Basisdaten Bioenergie Deutschland 2021,“ Eigenverlag, Rostock, 2020.
- [47] Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft & Agrarmarkt Austria Tierliste und Rinderdatenbank, „Betriebe mit Milchkühen nach Größenklassen 2020. Tabelle: 2.2.2.8b. In: Grüner Bericht 2020, Tabellenteil, Tabelle: „Tab_2022_2020208b_Vieh_Struktur_Betriebe_Milchkühe_INVEKOS_BL“,“ 2022b. [Online]. Available: https://bab.gv.at/index.php?option=com_rsfiles&folder=Gruener_Bericht&Itemid=477&lang=de. [Zugriff am 20.02.2024].
- [48] Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft & Agrarmarkt Austria Tierliste und Rinderdatenbank, „Struktur viehhaltender Betriebe (Geflügel, Rinder und Schweine) laut INVEKOS nach Bundesländern 2020, Basis GVE. In: Grüner Bericht 2020, Tabellenteil, Tabelle: „Tab_2022_2020207_Vieh_Struktur_Betriebe_Basis_INVEKOS_BL_GVE“,“ 2022a. [Online]. Available: https://bab.gv.at/index.php?option=com_rsfiles&folder=Gruener_Bericht&Itemid=477&lang=de. [Zugriff am 20.02.2024].

- [49] Landwirtschaftskammer Österreich, „GVE-Liste mit Koeffizienten zur Umrechnung,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.lko.at/gve-liste-mit-koeffizienten-zur-umrechnung+2400+3811291>. [Zugriff am 07 03 2024].
- [50] Statistik Austria, „Agrarstrukturerhebungen - Vollerhebung 2020. Wirtschaftsdünger Management der landwirtschaftlichen Betriebe,“ 2020c. [Online]. Available: https://bab.gv.at/index.php?option=com_rsfiles&folder=Gruener_Bericht&Itemid=477&lang=de&filter_order_Dir=desc. [Zugriff am 22 02 2024].
- [51] Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 - Umwelt, Energie und Naturschutz, „Kärntner Abfallbericht und Abfallwirtschaftskonzept - 4. Fortschreibung 2018,“ Amt der Kärntner Landesregierung, 2018. [Online]. Available: <https://www.ktn.gv.at/Service/Publikationen?kid=18>. [Zugriff am 2024 02 22].
- [52] Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. v., „Faustzahlen Biogas,“ KTBL, Darmstadt, 2013.
- [53] V. Zeller, D. Thrän, M. Zeymer, B. Bürzle, P. Adler, J. Ponitka, J. Postel, F. Müller-Langer, S. Rönsch, A. Gröngroft, C. Kirsten, N. Weller, M. Schenker, H. Wedwitschka, B. Wagner, P. Deumelandt, F. Reinicke, A. Vetter, C. Weiser, K. Henneberg und K. Wiegmann, „Basisinformation für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung - DBFZ Report Nr. 13,“ Eigenverlag, Leipzig, 2012.
- [54] C. Weiser, „Einflüsse auf den Getreidestrohertrag als Voraussetzung der Bestimmung des nachhaltigen Strohpotenzials,“ TATuP - Technikfolgeabschätzung - Theorie und Praxis, Bd. 23(2), pp. 66 - 70, 2014.
- [55] H. Hansen, H. Heilmann, M. Dietze, K. Heinbach, B. Romberg und J. Thomsen, „Heizen mit Stroh, Wertschöpfung für die Landwirtschaft,“ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Rostock, 2015.
- [56] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, „Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2020,“ 2020. [Online]. Available: https://www.biokraft-austria.at/media/17687/biokraftstoffbericht_2020.pdf. [Zugriff am 21 02 2024].
- [57] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, „Erneuerbare Kraftstoffe und Energieträger im Verkehrssektor in Österreich,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/biokraftstoffbericht.html>. [Zugriff am 21 02 2024].
- [58] Bio Diesel Kärnten GmbH, „Produktion,“ 26 07 2024. [Online]. Available: <https://www.biodiesel-kaernten.com/produktion/>.
- [59] Abfallwirtschaftsverband Spittal/Drau, „Die Müllverbrennung in Arnoldstein,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.awvspittal.at/der-awv/muellverbrennung-arnoldstein>. [Zugriff am 29 07 2024].
- [60] „oemof Projektseite,“ [Online]. Available: <https://oemof.org/>. [Zugriff am 15. 01. 2025].
- [61] T. Raphls, „Cbc / LICENSE,“ 17. 07. 2020. [Online]. Available: <https://github.com/coincor/Cbc/blob/master/LICENSE>. [Zugriff am 05. 10. 2020].