



Benjamin Stöckl

Der Energiefluss in Österreich mit ausschließlich erneuerbaren Energien

BACHELORARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Dipl.-Ing. Christopher Pansi, BSc

Dipl.-Ing. Jakob Holzner (Energie AG Oberösterreich)

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation

Graz, Februar 2021

Eidesstattliche Erklärung

Affidavit

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Bachelorarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present bachelor thesis.

4.7.2021

Datum / Date

Benjamin Steidl

Unterschrift / Signature

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Ermittlung eines Energieflusses in Österreich, wobei nur erneuerbare Energieträger eingesetzt werden. Dabei soll eruiert werden, welche Energieträger benötigt werden, wie groß die österreichischen Potentiale dieser sind und wie viel davon eingesetzt werden müsste.

Im Zuge der Energiewende gewinnen erneuerbare Energien immer stärker an Bedeutung. Oft werden nur die nächsten Ausbauschritte thematisiert, doch inwiefern wäre Österreich in der Lage sich selbst mit ausreichend Energie zu versorgen? Außerdem könnten erneuerbare Energien nicht nur eine Chance sein den Klimawandel zu stoppen, sondern auch energiepolitisch unabhängiger zu werden.

Für jeden Verbraucher fossiler Energie wird eine erneuerbare Alternative eingeführt und die Umwandlungsschritte werden entsprechend der Energieträger angepasst. Anhand der gesammelten Daten wird das Primärenergieaufkommen berechnet.

Daraus geht hervor, dass im Verkehr und bei thermischer Energie großes Einsparungspotential fossiler Energien besteht. Österreich hat ausreichend Potentiale einen großen Anteil des Energieverbrauchs durch eigene Produktion zu decken.

Abstract

This thesis deals with the determination of the energy flow in Austria, exclusively with renewable energy resources. The aim is to ascertain which energy carriers will be necessary and which amounts of these will be needed. Additionally, the potentials of the energy carriers should be estimated and how much of these capabilities is going to be used.

Because of the global climate change renewable energy resources are gaining more and more importance. Often only the upcoming development targets are discussed, but whether Austria would be capable of self-producing its energy demand is not dealt with. Beside stopping the climate change, Austria could reduce the energy dependence on other states. Every consumption of fossil energy will be replaced by a renewable alternative and the conversion processes will be adapted accordingly. Based on the collected data the primary energy demand will be calculated.

The results imply the massive potential savings in the transportation sector and the thermal energy. There are enough renewable energy resources to cover most parts of the domestic energy demands.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Analyse des aktuellen Energieverbrauchs	3
2.1. Energiefluss in Österreich	3
2.1.1. Aufkommen und Erzeugung	3
2.1.2. Umwandlung, Verluste und Exporte	5
2.1.3. Endenergieverbrauch	5
2.2. Verbrauch der Sektoren im Detail	6
2.2.1. Produzierender Bereich	7
2.2.2. Verkehr	9
2.2.3. Dienstleistungen	9
2.2.4. Private Haushalte	10
2.2.5. Landwirtschaft	11
3. Potentiale erneuerbarer Energie in Österreich	12
3.1. Wasserkraft	13
3.2. Windkraft	13
3.3. Photovoltaik	13
3.4. Biomasse	14
4. Berechnung des Energieflusses bei 100% EE	15
4.1. Annahmen zur Berechnung	15
4.2. Substitution aktueller Verbraucher fossiler Energie	16
4.2.1. Produzierender Bereich	17
4.2.2. Verkehr	18
4.2.3. Dienstleistungen	19
4.2.4. Private Haushalte	20
4.2.5. Landwirtschaft	20
4.3. Berechnung des benötigten Primärenergieaufkommens	21
4.3.1. Basisszenario	21
4.3.2. Verbrauchsszenario - Wachstum	24
4.3.3. Verbrauchsszenario - Effizienz	24
4.3.4. Technologieszenario	24
5. Ergebnisse & Diskussion	26
5.1. Basisszenario	26
5.2. Verbrauchsszenario - Wachstum	31

5.3. Verbrauchsszenario - Effizienz	33
5.4. Technologieszenario	33
5.5. Potentialnutzung	33
5.6. Speicherung	34
6. Zusammenfassung	35
Abkürzungsverzeichnis	36
Abbildungsverzeichnis	37
Tabellenverzeichnis	38
Literaturverzeichnis	39
A. Anhang	41

1. Einleitung

Die Bedeutung erneuerbarer Energien (EE) hat in den letzten Jahren aufgrund der ansteigenden Klimaprobleme stark zugenommen. Aufgrund dessen entwickeln sich vermehrt nationale und internationale Bestreben, den Ausstoß von Treibhausgasen (THG) konsequent zu senken. Allen voran wollen die Pariser Klimaziele den durchschnittlichen Temperaturanstieg im Vergleich zu dem vorindustriellen Zeitalter auf deutlich unter 2°C begrenzen. Die Europäische Union hat sich darauf geeinigt den THG-Ausstoß im Vergleich zu dem Jahr 1990 um 55% bis 2030 zu reduzieren und bis 2050 klimaneutral zu werden. Der Entwurf des Erneuerbaren Ausbau Gesetz (EAG) sieht für Österreich eine bilanziell erneuerbare Produktion elektrischer Energie bis 2030 vor. Dieses Vorhaben benötigt einen erheblichen Ausbau von EE von 39,6 PJ. Jedoch werden abseits von elektrischer Energie große Mengen in Form von fossiler Energie für Verkehr und thermischer Energie genutzt, welche einen erheblichen Anteil zu den THG-Emissionen beitragen. Folglich ist eine dekarbonisierte Energieversorgung ein wichtiger Bestandteil, um die Klimaziele zu erreichen und den Klimawandel einzudämmen. Abgesehen der Relevanz in Bezug auf den Klimawandel, ist Österreich von Energieimporten abhängig. Dies schafft eine politische als auch eine wirtschaftliche Abhängigkeit gegenüber den liefernden Ländern.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine mögliche Zusammensetzung des Energieflusses von Österreich zu ermitteln, unter der Annahme, dass jegliche Energie in Form von EE gewonnen wird. Zusätzlich sollen die berechneten Energiemengen mit den Potentialen in Österreich verglichen werden, um eine Abschätzung treffen zu können, ob Österreich in der Lage wäre seinen Energieverbrauch selbst decken zu können oder weiterhin auf Importe angewiesen sein wird.

Für die Daten der Verbraucher werden vorhandene Daten des Jahres 2018 verwendet. Die Substitutionsmöglichkeiten, Wirkungsgrade und Potentiale werden anhand einer Literaturrecherche aus Studien und Berichten zusammengetragen. Die gesammelten Daten werden in einer *EXCEL* Tabelle ausgewertet und das benötigte Primärenergieaufkommen berechnet. Die grafische Darstellung der Energieflüsse erfolgt mithilfe der Software *e!Sankey*.

Die folgende Arbeit teilt sich auf 6 Kapitel auf. Im ersten Kapitel wird eine kurze Einführung über die Thematik, Motivation, Methode und Aufbau der Arbeit gegeben. In Kapitel 2 wird der Energiefluss von Österreich aus dem Jahr 2018 analysiert und der Verbrauch im Detail ermittelt. Anschließend werden in Kapitel 3 die Potentiale der benötigten erneuerbaren Energieträger erhoben. In dem darauffolgenden Kapitel 4 werden die Substitutionsmöglichkeiten der Verbraucher fossiler Energie, sowie die Wirkungsgrade der Umwandlungen bestimmt und die Berechnung des Primärenergieaufkommens für vier Szenarien durchgeführt. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Berechnungen diskutiert und in Kapitel 6 zusammengefasst.

2. Analyse des aktuellen Energieverbrauchs

Im ersten Schritt wird der aktuelle Energieverbrauch Österreichs von dem Primärenergieaufkommen über die Umwandlungsschritte bis zu den Verbrauchern analysiert. Die Daten zu dem aktuellen Energiefluss werden aus dem Energiebericht [1] des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) aus dem Jahr 2019¹ entnommen.

2.1. Energiefluss in Österreich

Der Energiefluss in Österreich (Abbildung 2.1) stellt die derzeit verwendeten Energieträger und deren Menge, sowie den Verbrauch der jeweiligen Sektoren dar. Er gliedert sich in die vier Bereiche: Aufkommen und Erzeugung, Umwandlung, Verwendung und Verluste und Endenergieverbrauch. Diese werden in den folgenden Kapiteln genauer betrachtet.

2.1.1. Aufkommen und Erzeugung

Das Primärenergieaufkommen setzt sich aus der inländischen Erzeugung, den Importen und der eingelagerten Energie zusammen. Österreich hat eine hohe Importquote, da mit 917 PJ Nettoimporten, annähernd doppelt so viel Energie importiert, als inländisch produziert wird. Die meist importierten Energieträger sind mit einer Nettoimportmenge² von 877 PJ die fossilen Energieträger: Kohle, Öl und Gas. Dies ist auf die fehlende Verfügbarkeit in Österreich zurückzuführen. Die Nettoimportmenge beläuft sich bei elektrischer Energie auf 32 PJ (siehe Tabelle 2.1), dies entspricht 14% des Endenergieverbrauchs von elektrischer Energie. Die Import-Export-Differenz der biogenen Energien ist annähernd ausgeglichen, wobei 8 PJ mehr importiert werden.

Nettoimporte	Energiemenge [PJ]	Energiemenge [%]
Öl	491	53,5
Gas	272	29,6
Kohle	114	12,4
Strom	32	3,4
Biomasse	8	0,8
Summe	917	100

Tabelle 2.1: Nettoenergieimporte in Österreich [1]

¹enthält die Energieflussdaten des Jahres 2018

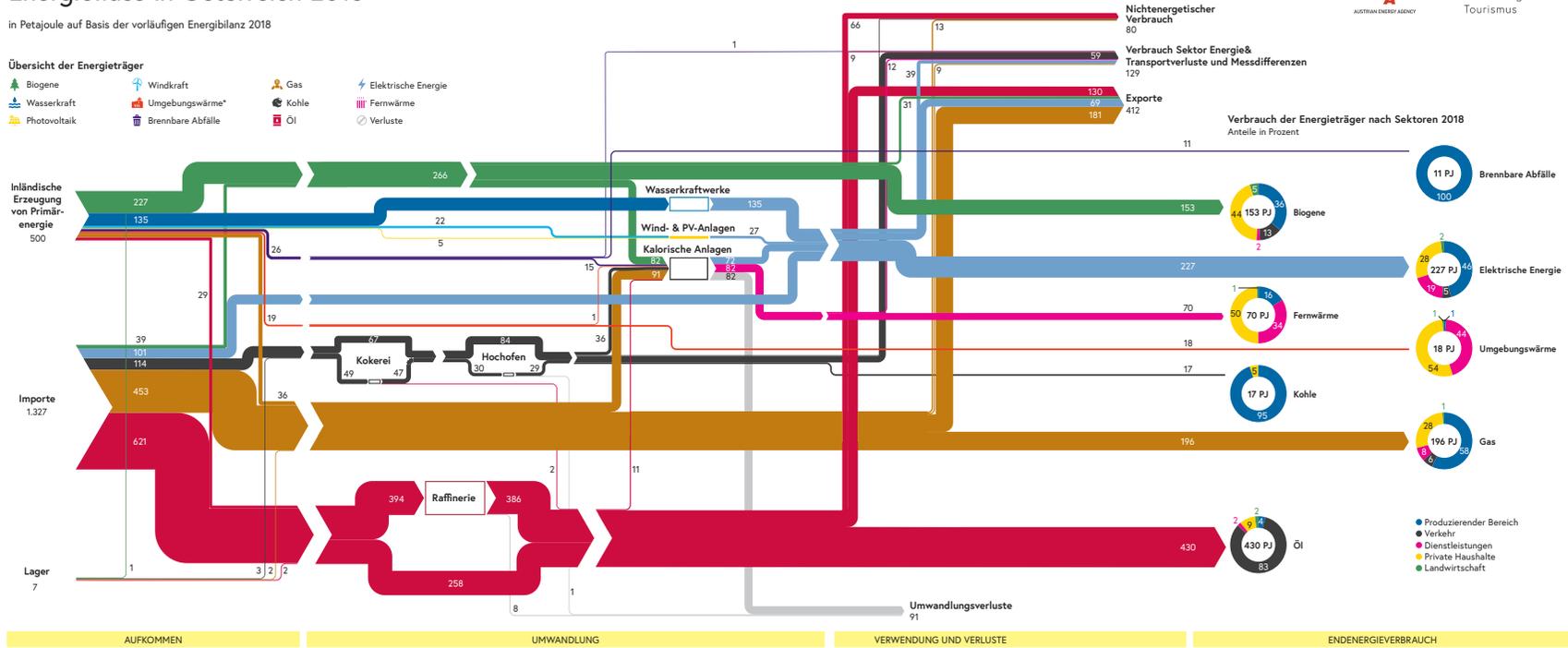
²Nettoimport errechnet sich aus dem Import-Export-Saldo

Energiefluss in Österreich 2018

in Petajoule auf Basis der vorläufigen Energiebilanz 2018

Übersicht der Energieträger

-  Biogene
-  Windkraft
-  Gas
-  Elektrische Energie
-  Wasserkraft
-  Umgebungswärme*
-  Kohle
-  Fernwärme
-  Photovoltaik
-  Brennbare Abfälle
-  Öl
-  Verluste



*) Solarthermie, Wärmepumpen, Geothermie
Das Diagramm wurde auf Basis der vorläufigen Energiebilanz für 2018 (Stand: 29. Mai 2019) sowie der Nutzenergieanalyse für 2017 (Stand: 15. Dez. 2018) der Statistik Austria erstellt. Energieflüsse, die nicht in der vorläufigen Energiebilanz für 2018 ausgewiesen sind, wurden auf Basis der endgültigen Energiebilanz für 2017 abgeschätzt.

Abbildung 2.1: Energieflussdiagramm Österreichs 2018 [1]

Die inländische Energieerzeugung (siehe Tabelle 2.2) besteht mit 227 PJ zum größten Teil aus biogener Energie, gefolgt von Wasserkraft mit 135 PJ. Insgesamt stammen 81,6% der inländisch erzeugten Energie aus erneuerbaren Energiequellen.

Inländische Erzeugung	Energiemenge [PJ]	Energiemenge [%]
Biogene Energie	227	45,4
Wasserkraft	135	27
Gas	36	7,2
Öl	29	5,8
Brennbare Abfälle	26	5,2
Windkraft	22	4,4
Umgebungswärme	19	3,8
Photovoltaik	5	1
Summe	500	100

Tabelle 2.2: Energiemengen inländischer Energieerzeugung [1]

2.1.2. Umwandlung, Verluste und Exporte

Wasserkraft ist der größte Erzeuger von elektrischer Energie in Österreich. Wind und Photovoltaik (PV) nehmen mit 27 PJ derzeit noch eine untergeordnete Rolle ein. Neben den Importen wird auch durch Verbrennung von biogener Energie, Gas, brennbaren Abfällen, Kohle und Öl, ebenfalls elektrische Energie produziert. Ein Teil der dabei entstehenden thermischen Energie wird als Fernwärme verwertet. Die, in kalorischen Anlagen, eingesetzte Energie teilt sich ungefähr gleichermaßen auf elektrische Energie, Fernwärme und Umwandlungsverluste auf. Diese stellen mit 82 PJ den größten Anteil der Umwandlungsverluste dar. Weitere Umwandlungen finden bei Kohle und Öl statt, wobei die dabei entstehenden Verluste mit 10% gering ausfallen. Insgesamt werden 621 PJ des Primärenergieaufkommens exportiert, nicht energetisch beziehungsweise im Energiesektor verbraucht oder entfallen auf Messdifferenzen. [1]

2.1.3. Endenergieverbrauch

Der Endenergieverbrauch ist in den Jahren 2005 - 2018 pro Jahr um 0,2% angestiegen. Öl ist mit 38,3% (siehe Tabelle 2.3) weiterhin die meistgenutzte Energieform, trotz des Rückgangs um 1,1% pro Jahr, in den letzten 13 Jahren. Kombiniert mit elektrischer Energie, Biogener Energien und Gas decken diese vier Energieträger 89,6% des Endenergieverbrauchs Österreichs ab. [1]

Endenergieverbrauch	Energiemenge [PJ]	Energiemenge [%]
Öl	430	38,3
Strom	227	20,2
Gas	196	17,5
Biogene Energien	153	13,6
Fernwärme	70	6,2
Umgebungswärme	18	1,6
Kohle	17	1,5
Brennbare Abfälle	11	0,9
Summe	1122	100

Tabelle 2.3: Endenergieverbrauch je Energieträger [1]

Die Umgebungswärme ist mit 1,6% zwar eine gering genutzte Energieform, steigt jedoch seit 2005 um 8% pro Jahr an.

2.2. Verbrauch der Sektoren im Detail

Der Verkehrssektor hat mit 35,8% den höchsten Endenergieverbrauch. Gefolgt von dem produzierenden Bereich (29,1%), den privaten Haushalten (24,1%), den Dienstleistungen (9,1%) und der Landwirtschaft (2%). Der Verbrauch der Sektoren und der Energieträgeranteil sind in Abbildung 2.2 dargestellt. Die Verbrauchsdaten der Abbildung 2.2 basieren auf den Daten der Nutzenergieanalyse für das Jahr 2018, eingetragen in den Tabellen 2.4 bis 2.9³. Am auffälligsten ist der Öl-Verbrauch des Verkehrs, aber auch der Gas-Verbrauch der privaten Haushalte und der Industrie hat einen großen Anteil der fossilen Energien. In den Kapiteln 2.2.1-2.2.5 wird der Energieverbrauch der jeweiligen Sektoren und die Art der Nutzung beziehungsweise des Verbrauchers bestimmt.

³Die Abweichungen zu den Werten des Energieflusses des Jahres 2018 in Abbildung 2.1 resultieren aus der Tatsache, dass die Daten des Energieflusses eine Kombination von Daten des Jahres 2017 und 2018 beinhalten. (siehe Anmerkung auf Abbildung 2.1)

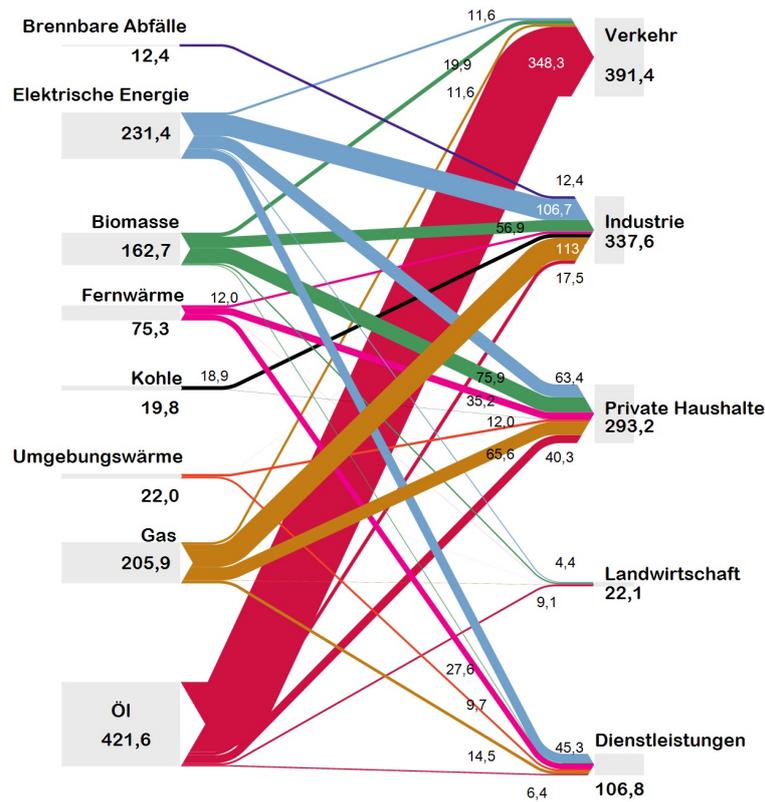


Abbildung 2.2: Energieverbrauch der Sektoren im Jahr 2018 (Angaben in PJ)

2.2.1. Produzierender Bereich

Die Verbrauchsdaten des produzierenden Bereichs in Tabelle 2.4 und 2.5 entstammen der Studie von Geyer et al. [2]. Die Energieträger: *fossile Brennstoffe (flüssig)* und *fossile Kraftstoffe (flüssig)* werden zu dem Energieträger Öl zusammengefasst. Der Energiebedarf an Gichtgas & Kokereigas für Industrieöfen wird zu dem Energiebedarf der Kohle hinzugefügt, da beide Energieträger rein für thermische Energie benötigt werden. Der produzierende Bereich benötigt ein hohes Ausmaß an thermischer Energie für Industrieöfen, Dampferzeugung und für Raumwärme. Diese Energie wird hauptsächlich aus Gas, aber auch aus biogener Energie erzeugt. Ein weiterer großer Verbraucher sind Standmotoren, welche weitgehend mit elektrischer Energie betrieben werden.

Endenergiebedarf		Nutzung		
[PJ]				
Energieträger	Raumheizung und Klimaanlagen	Dampf- erzeugung	Industrieöfen	
Biogene Energie	5,48	37,8	13,2	
Strom	5,63	3,38	15,5	
Gas	18,7	44,4	47,6	
Öl	2,01	1,47	2,89	
Umgebungswärme	0,23			
Brennbare Abfälle	1,57	3,28	7,85	
Kohle		4,41	14,47	
Fernwärme	4,34	2,91	4,35	
Summe	37,67	97,7	106,1	

Tabelle 2.4: (1) Endenergiebedarf des produzierenden Bereichs nach Energieträger und Verbraucher aufgetragen [2]

Endenergiebedarf		Nutzung			
[PJ]					
Energieträger	Standmotoren	Beleuchtung & IT	Elektrochemische Zwecke	Summe	
Biogene Energie	0,29			56,8	
Strom	73,3	8,17	0,6	106,7	
Gas	2,22	0,007		113,01	
Öl	11,3			17,7	
Umgebungswärme				0,23	
Brennbare Abfälle				12,39	
Kohle				18,89	
Fernwärme				11,69	
Summe	87,2	8,18	0,6	337,5	

Tabelle 2.5: (2) Endenergiebedarf des produzierenden Bereichs nach Energieträger und Verbraucher aufgetragen [2]

2.2.2. Verkehr

Der Verkehrssektor ist der Sektor mit dem höchsten gesamten Energieverbrauch und mit dem höchsten Energieverbrauch von Öl. Wie Tabelle 2.6 zu entnehmen ist, wird mit 57% die meiste Energie für den Personenverkehr (PKW) verbraucht, gefolgt von dem Frachtverkehr auf der Straße und dem Flugverkehr. Der Anteil der biogenen Energie bei dem Personen- und Frachtverkehr ist auf das Beimengen von Biotreibstoffen zu fossilen Treibstoffen zurückzuführen.

Energieträger	Endenergiebedarf [TJ]						Summe
	Nutzung						
	Schiene	Fracht- verkehr	Personen- verkehr	Flug- verkehr	Schiff	Transp. in Rohrleit.	
Biogene Energie	77,8	5.477	14.300				19.855
Strom	5.727	1.389	3.626			875	11.618
Gas		277	724			10.604	11.607
Öl	1.319	85.896	224.277	36.085	728		348.308
Kohle	4,3						4,3
Summe	7.129	93.039	242.930	36.085	728	11.479	391.393

Tabelle 2.6: Endenergiebedarf des Verkehrs nach Energieträger und Verbraucher [3]

2.2.3. Dienstleistungen

Tabelle 2.7 zeigt, dass der Großteil des Energiebedarfs des Dienstleistungssektors in Form von thermischer Energie für Raumklima & Warmwasser und Prozesswärme benötigt wird. Die notwendige Energie für die Bereiche Prozesswärme, Standmotoren und Beleuchtung & IT wird hauptsächlich durch elektrische Energie gedeckt.

Endenergiebedarf [PJ]		Nutzung			
Energieträger	Raumklima & Warmwasser	Prozess- wärme	Stand- motoren	Beleuchtung & IT	Summe
Biogene Energie	3,1	0,2			3,3
Strom	8,7	19,2	4,2	13,2	45,3
Gas	12	2,2	0,3		14,5
Öl	6,2	0,2			6,4
Umgebungswärme	9,7				9,7
Fernwärme	27,4	0,2			27,6
Summe	67,1	22,1	4,5	13,2	106,8

Tabelle 2.7: Endenergiebedarf des Dienstleistungssektors nach Energieträger und Verbraucher aufgetragen [4]

2.2.4. Private Haushalte

Im Bereich der privaten Haushalte gliedert sich der Energieverbrauch hauptsächlich in thermische Energie für Raumwärme, Warmwasser und Kochen, sowie in elektrische Energie, wie in Tabelle 2.8 zu sehen ist. Der Stromverbrauch wird nicht detaillierter betrachtet, da er nicht durch andere Energieträger substituiert wird.

Endenergiebedarf [TJ]		Nutzung			
Energieträger	Raumwärme	Warmwasser	Kochen	Sonstiges	Summe
Biogene Energie	66.886	8.656	375		75.918
Strom	9.833	10.472	6.482	37.020	63.363
Gas	57.524	7.719	352		65.595
Öl	35.277	4.984			40.262
Umgebungswärme	7.069	4.904			11.973
Kohle	848	58,6	1,07		907,7
Fernwärme	29.091	6.126			35.218
Summe	206.086	42.922	7.211	37.020	293.240

Tabelle 2.8: Endenergiebedarf der privaten Haushalte nach Energieträger und Verbraucher [5]

2.2.5. Landwirtschaft

Der Landwirtschaftssektor hat mit 2% den geringsten Anteil am Endenergieverbrauch. Tabelle 2.9 zeigt, dass der größte Anteil des Endenergieverbrauchs ebenfalls auf die thermische Energie für Raumwärme und Prozesswärme entfällt. Aber auch der Treibstoff für Maschinen machen fast die Hälfte der benötigten Energie aus.

Endenergiebedarf [TJ]	Nutzung					Summe
	Energieträger	Raumwärme Warmwasser	Prozess- wärme	Stand- motoren	Beleuchtung & EDV	
Biogene Energie	4.880	1.319	12,5		499	6.711
Strom	1.350	29,7	2.244	757		4.382
Gas	983	222	3,7			1.209
Öl	35,5	5,3	389		8.715	9.145
Umgebungs- wärme	161					161
Kohle	15,6	1,4				17
Fernwärme	456					456
Summe	7.883	1.578	2.650	757	9.214	22.084

Tabelle 2.9: Endenergiebedarf der Landwirtschaft nach Energieträger und Verbraucher aufgetragen [6]

3. Potentiale erneuerbarer Energie in Österreich

Für eine bessere Einschätzung der Ergebnisse des Primärenergieaufkommens der einzelnen Energieträger werden diese mit den theoretischen Potentialen in Österreich verglichen. Daraus kann in weiterer Folge auch eine Abschätzung über die Importquote getroffen werden.

Bei der Betrachtung der Potentiale sind einige Aspekte zu beachten: Der Potentialbegriff wird meist in unterschiedlichen Abstufungen verwendet. Dabei wird häufig zwischen theoretischem, technischem und wirtschaftlichem Potential unterschieden, manchmal noch zusätzlich das realisierbare Potential. Das theoretische Potential beschreibt dabei die theoretische Obergrenze des Angebots eines Energieträgers, das technische Potential, wie viel dieses Energieangebots mit vorhandenen Techniken nutzbar gemacht werden kann. Die Abstufung zum wirtschaftlichen Potential gibt jene Energiemenge an, die bei aktuellen Marktpreisen wirtschaftlich genutzt werden kann. Das realisierbare Potential bezieht noch weitere gesellschaftliche Hürden, wie die Akzeptanz der verwendeten Technik, ein und liegt daher unter dem wirtschaftlichen Potential.

Da das realisierbare und das wirtschaftliche Potential gesellschaftlichen und ökonomischen Veränderungen unterliegen und davon ausgegangen wird, dass die Akzeptanz der Gesellschaft gegenüber erneuerbaren Energien steigt und die Wirtschaftlichkeit, letztendlich auch durch Regulierungen, gegeben sein wird, werden diese zwei Abstufungen nicht beachtet und nur das technische Potential als Richtwert angenommen.

Häufig sind Potentialanalysen zeitlich begrenzt und schätzen nur das realisierbare Potential bis zu einem bestimmten Zeitpunkt (z.B.: bis zu dem Jahr 2030 oder 2050) ab. Bei diesen Abschätzungen spielen aber meist die Ausbaugeschwindigkeit und das wirtschaftliche Potential eine übergeordnete Rolle, da bei dieser zeitlichen Herangehensweise die technischen Potentiale meist nicht ausgeschöpft werden. In diesem Szenario nimmt die zeitliche Betrachtung allerdings eine untergeordnete Rolle ein und diese Analysen werden nur bei mangelnder Datenverfügbarkeit als Richtwert herangezogen.

3.1. Wasserkraft

Wasserkraft ist nach biogener Energie die meistgenutzte nachhaltige Energieform und wird in Österreich intensiv genutzt. Das gesamte Potential beläuft sich für Österreich auf 202 PJ, davon werden aktuell 144 PJ genutzt [7]. Das zusätzlich nutzbare Potential beschränkt sich hauptsächlich auf den Neubau von Kleinkraftwerken und die Modernisierung bestehender Kraftwerke. Das Restpotential wird je nach Studie zwischen 36 PJ und 46 PJ angenommen [8]. Bei der Erhebung dieser Werte wurden nicht bebaubare Gebiete, wie Nationalparks, berücksichtigt.

3.2. Windkraft

Die Windkraft trägt aktuell 22 PJ zur inländischen Stromproduktion bei [1]. Die Bandbreite der Studienergebnisse zur Abschätzung des technischen Potentials ist besonders groß, da die Leistung von Windkraftanlagen in den letzten Jahren stetig angestiegen ist und somit das vorhandene Potential effizienter genutzt werden kann. Zusätzlich zu der Anlageneffizienz wird das Potential durch die möglichen Standorte eingegrenzt. Die derzeitige Nutzung beschränkt sich hauptsächlich auf den Osten Österreichs, aufgrund der befürchteten Einflüsse auf die Landschaftsästhetik der Alpen. Für das Jahr 2030 scheint es realistisch 81 PJ mittels Windkraft zu produzieren [9]. Betrachtet man das gesamte technische Potential für Österreich ergeben sich Energiemengen von 150 bis 250 PJ [10] [11].

3.3. Photovoltaik

Das Potential der Photovoltaikenergie wird hauptsächlich durch den Flächenbedarf und den Wirkungsgrad der Zellen begrenzt. Der Wirkungsgrad der Zelle, gibt an, wie viel des eingestrahlten Sonnenlichts in elektrische Energie umgewandelt wird. Aktuell sind 95% aller Photovoltaikzellen kristalline Zellen, welche einen Wirkungsgrad von 20% haben. Das physikalische Maximum von monokristallinen Zellen liegt bei 44% [12].

In Zukunft ist zu erwarten, dass der Wirkungsgrad in Kombination mit anderen Technologien noch weiter steigen wird. Zum jetzigen Zeitpunkt kann jedoch keine genaue Prognose über einen zukünftig realisierbaren Wirkungsgrad getroffen werden, daher wird für die Berechnungen der aktuell gängige von 20% verwendet.

Für die Potentialerhebung werden Gebäudeflächen, Deponieflächen, Verkehrsflächen und Freiflächen herangezogen. Wobei für Freiflächen nur extensiv genutztes und nicht mehr genutztes Grünland verwendet wird. Das Potential der Freiflächen ist fast doppelt so hoch, wie das der Gebäudeflächen, siehe Tabelle 3.1. Deponieflächen und Verkehrsflächen haben aufgrund des geringeren Potentials eine untergeordnete Rolle. Das gesamte Photovoltaikpotential für Österreich lässt sich mit 176,7 PJ abschätzen. [13]

Technisches Potential	
	[PJ]
Gebäude	48,2
Deponien	4,3
Verkehrssektor	16,2
Freifläche	108
Gesamt	176,7

Tabelle 3.1: Photovoltaik Potentiale unterschiedlicher Installationsorte [13]

3.4. Biomasse

Das Potential für feste Biomasse und Biomethan wird kombiniert betrachtet, da ein Großteil der biogenen Energieträger entweder als fester Brennstoff oder in Form von Biogas beziehungsweise Biomethan verwertet werden kann [14]. In der Studie von Lindorfer et al. wird das Biomethanpotential für das Jahr 2050 mit 59,8 PJ angegeben [15]. In Kapitel 5 wird die berechnete Biomethanmenge mit dem Potential verglichen, um abzuschätzen, ob eine weitere Produktion durch Biomassevergasung notwendig ist. Bei einigen Studien wird das Potential für das Jahr 2050 abgeschätzt, jedoch ist im Falle der Biomasse der Wert annähernd als gesamtes technisches Potential für Österreich zu betrachten, da mit 227 PJ aktuell eine große Menge biogener Energie genutzt wird. Energie in Form von Biomasse wird hauptsächlich aus Land- und Forstwirtschaft, aber auch aus Abfallprodukten gewonnen. Die landwirtschaftliche Nutzung in Form von Energiepflanzen steht jedoch in Konkurrenz zum Lebensmittelanbau, was wiederum ethische und moralische Fragen aufwirft. Das berechnete Potential unterschiedlicher Studien reicht von 242 PJ [16], über 363 PJ [17] und 375 PJ [18] bis hin zu 420 PJ [19].

4. Berechnung des Energieflusses bei 100% EE

Die Berechnung des Endenergieverbrauchs und Primärenergieaufkommens bei 100% erneuerbarer Energie wird in zwei Schritten durchgeführt. Im Ersten werden die aktuellen Verbraucher fossiler Energien auf erneuerbare Energieträger umgestellt. Dazu wird in Kapitel 4.2 die Substitutionsmethode für jeden einzelnen Verbraucher aufgeschlüsselt. Im zweiten Schritt wird anhand der Wirkungsgrade der Umwandlungsschritte (z.B.: Wasserstoffelektrolyse, etc.) das benötigte Primärenergieaufkommen auf Basis des Endenergieverbrauchs berechnet.

4.1. Annahmen zur Berechnung

Um den Aufwand und die Komplexität der Berechnung in einem Rahmen zu halten der dieser Arbeit entspricht, werden ein paar Annahmen getroffen, um die Berechnung einfacher durchführen zu können.

Technologiewechsel

Wird ein Verbraucher von einem fossilen Brennstoff auf eine erneuerbare Energieform umgestellt, wird sehr wohl eine steigende Effizienz berücksichtigt.

z.B.: Werden Autos mit Verbrennungsmotor auf elektrisch betriebene Fahrzeuge umgestellt, wird der höhere Wirkungsgrad des elektrischen Antriebs einbezogen.

Wärmepumpen

Es wird angenommen, dass keine thermische Energie direkt aus elektrischer Energie erzeugt wird. Als Alternative wird eine Wärmepumpe verwendet, um den Verbrauch von elektrischer Energie gering zu halten. Beim Einsatz einer Wärmepumpe teilt sich die benötigte Energie zu 25% auf elektrische Energie und zu 75% auf Umgebungswärme auf [20].

Kraftwärmekopplung

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass in Zukunft, aus Effizienzgründen, jedes thermische Kraftwerk für Fernwärme oder elektrischer Energie als Kraft-Wärmekopplungsanlage ausgeführt ist.

Energiespeicherung

In Zukunft werden kurzfristige und saisonale Speicherung von Energie eine entscheidende Rolle spielen, um die Volatilität der erneuerbaren Energien auszugleichen. Zum aktuellen Zeitpunkt ist die Form der Speicherung, die Menge der gespeicherten Energie und die Wirkungsgrade der Speicherprozesse noch nicht absehbar, daher wird dieser Faktor in diesem Szenario nicht berücksichtigt, wird aber bei der Betrachtung der Ergebnisse in Kapitel 5.6 diskutiert.

Brennbare Abfälle

Die Menge an brennbaren Abfällen wird für die Zukunft als konstant angenommen. Beim Eintritt eines Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums, wird davon ausgegangen, dass durch ein gesteigertes Bewusstsein, Verpackungen vermieden werden.

Transportverluste

Die Verluste, welche beim Transport von elektrischer Energie und Fernwärme anfallen, werden in gleichem Verhältnis zur transportierten Energie wie bei der aktuell übertragenen Energie angenommen. Da keine großen Technologiesprünge bei dem Energietransport absehbar sind.

Eingesetzte Energieressourcen

Zur Bereitstellung des benötigten Primärenergieaufkommens werden die Energieträger: Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik, biogene Energie, brennbare Abfälle und Umgebungswärme (für Wärmepumpen) verwendet. Solarthermie wird trotz ihres hohen Potentials nicht berücksichtigt, da sie in Flächenkonkurrenz zu PV-Anlagen steht und die neu installierte Leistung, seit dem ansteigenden Ausbau von PV, stark absinkt. Ebenso besitzt die Geothermie großes Potential, jedoch ist die aktuelle Nutzung und auch der derzeitige Ausbaugrad sehr gering. Da kein starker Anstieg dieser Energieform absehbar ist, wird sie in dieser Betrachtung nicht eingesetzt. [1]

4.2. Substitution aktueller Verbraucher fossiler Energie

In den folgenden Kapiteln 4.2.1 - 4.2.5 werden die erneuerbaren Energieträger und deren Aufteilung zur Substituierung fossiler Energien aufgelistet. Die verwendeten Energieträger und die Aufteilung dieser basieren auf Annahmen, in Ausnahmefällen ist die Quelle angegeben.

4.2.1. Produzierender Bereich

Die Substitutionsmöglichkeiten für den produzierenden Bereich basieren hauptsächlich auf dem Szenario *Basis* der Studie von Geyer et al. [2]. Lediglich für den Einsatz von Kohle und Koks in Hochofenprozessen, ist aufgrund der Reduktion von Eisenerz in Schmelzprozessen keine Substitution in der vorliegenden Studie vorgesehen. Jedoch kann mithilfe des Direktreduktionsverfahrens, bei dem Wasserstoff und Biomethan verwendet wird, eine annähernd CO_2 neutrale Stahlproduktion stattfinden [21]. Die brennbaren Abfälle werden nicht substituiert, da angenommen wird, dass diese in Zukunft weiterhin vorhanden sind und verwertet werden müssen.

Raumheizung und Klimaanlage

Die thermische Energie für Raumheizung und Klimaanlage wird vollständig auf Wärmepumpen umgestellt, darin sind biogene Treibstoffe inkludiert. Die verbrauchte elektrische Energie, Fernwärme, brennbare Abfälle und Umgebungswärme bleiben gleich.

Dampferzeugung

Die genutzten fossilen Energieträger werden zu jeweils 50% auf biogene Brennstoffe und elektrische Energie umgestellt. Durch die Umstellungen entstehen keine erheblichen Änderungen bei den Wirkungsgraden. Die aktuell genutzte biogene Energie, elektrische Energie, brennbaren Abfälle und Fernwärme bleiben unverändert.

Industrieöfen

Alle erneuerbaren Energieträger, wie Fernwärme, biogene Energie und elektrische Energie, sowie brennbare Abfälle bleiben unverändert. Öl wird zu 10% durch elektrische Energie und zu 90% durch biogene Energie substituiert. Gas wird gänzlich durch biogene Energie ersetzt. Kohle wird ausschließlich durch Wasserstoff ersetzt.

Standmotoren

Die fossilen Brennstoffe für Standmotoren werden zu 90% mit elektrischer Energie und zu 10% mit Wasserstoff ersetzt, aufgrund der fehlenden Infrastruktur auf Baustellen. Standmotoren, welche mit Fernwärme und biogener Energie betrieben werden, bleiben unverändert. Bei der Umstellung auf elektrische Energie wird wie bei der Umstellung auf batterieelektrische Fahrzeuge ein geringerer Energieaufwand von 25% einbezogen. Werden die Standmotoren mit Wasserstoff betrieben, wird eine Reduktion von 50% angenommen. [22]

Beleuchtung & IT

Aktuell verwendetes Gas wird durch grünes Gas ersetzt.

Elektrochemische Zwecke

Elektrische Energie für elektrochemische Prozesse wird nicht substituiert.

4.2.2. Verkehr

Schiene

Die elektrische Energie im Schienenverkehr wird weitergeführt, das Öl, die biogene Energie (welche sich im Öl befindet) und die Kohle werden mit Wasserstoff substituiert, da davon ausgegangen wird, dass auf diesen Strecken kein Oberleitungsbau rentabel ist. Dabei wird von einer Energieeinsparung von 50%, wie bei Wasserstoffautos, ausgegangen [22].

Frachtverkehr

Die fossilen Brennstoffe im Frachtverkehr und die biogene Energie werden zu 33% auf elektrische Energie und zu 67% auf Wasserstoff aufgeteilt. Dies basiert auf der Annahme, dass der Kurzstrecken-Frachtverkehr elektrisch betrieben wird und der Langstrecken-Frachtverkehr, aufgrund der leichter zu erreichenden höheren Reichweite und dem schnelleren Betanken, mit Wasserstoff betrieben wird. Für den batterieelektrischen Antrieb wird ein Energiebedarf von 25% verwendet, für den Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb ein Bedarf von 50% des ursprünglichen Öls [22].

Personenverkehr

Bei dem Personenverkehr auf der Straße wird davon ausgegangen, dass alle PKWs rein elektrisch betrieben werden. Es werden nur 25% des Öls in Form von elektrischer Energie benötigt, aufgrund der höheren Effizienz des batterieelektrischen Antriebs [22]. Es werden rein elektrische Fahrzeuge eingesetzt, da die Zulassungszahlen von Wasserstoffautos deutlich geringer sind als jene von batteriebetriebenen Elektroautos und auch kein gegenteiliger Trend erkennbar ist [23].

Flugverkehr

Der Flugverkehr wird rein auf synthetische Treibstoffe umgestellt, da kommerzielle Flugzeuge, welche batterieelektrisch oder mit Wasserstoff betrieben werden, noch nicht absehbar sind. Jedoch die Technologie, synthetische Kraftstoffe aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid zu produzieren, heute schon existiert. [24]

Schiff

Da beim Schiffsverkehr die Energiedichte nicht so relevant ist, wie bei anderen Transportmitteln, wird er ebenfalls gänzlich auf Wasserstoffbetrieb umgestellt. Dabei wird ebenfalls 50% weniger Energie benötigt [22].

Transport in Rohrleitungen

Die Energie, welche für den Transport in Rohrfernleitungen aufgewandt werden muss, wird relativ um die Abnahme von grünem Gas im Vergleich zu Gas reduziert und in Form von grünem Gas und elektrischer Energie weitergeführt.

4.2.3. Dienstleistungen

Raumklima & Warmwasser

Die aktuell verwendete Energiemenge an Gas wird zu 40% auf Fernwärme, zu 40% auf Wärmepumpen und zu 20% auf grünes Gas umgestellt. Die teilweise Umstellung auf Fernwärme erfolgt aufgrund der Annahme, dass in Gebieten, wo die Infrastruktur für Gas vorhanden ist, auch die Infrastruktur für Fernwärme vorhanden oder ohne übermäßigen Aufwand nachrüstbar ist.

Der Energieträger Öl wird zu 80% mit biogener Energie und zu 20% mit Wärmepumpen substituiert, um eine fehlende Infrastruktur und einen erhöhten Heizwärmebedarf sicherstellen zu können.

Prozesswärme

Benötigtes Gas wird zu 50% durch Fernwärme und zu 50% durch grünes Gas ersetzt, da bei Prozesswärme höhere Temperaturen, als bei Raumklima & Warmwasser benötigt werden. Das verwendete Öl wird zu 100% durch Biomasse ersetzt, ebenfalls aufgrund des höheren Temperaturniveaus. Vorhandene Biomasse und elektrische Energie wird nicht ersetzt.

Standmotoren

Das benötigte Gas für Standmotoren wird durch grünes Gas ersetzt, die benötigte elektrische Energie wird nicht substituiert.

Beleuchtung & IT

Die elektrische Energie für Beleuchtung und IT wird nicht substituiert.

4.2.4. Private Haushalte

Raumwärme & Warmwasser

Die Aufteilung der Energie für Warmwasser und Raumwärme orientiert sich an den Daten der Studie von Kranzl et al. [25]. Das benötigte Öl wird zu 80% durch feste biogene Brennstoffe und zu 20% durch Wärmepumpen ersetzt. Aktuell verbrauchtes Gas wird zu 20% durch grünes Gas⁴, zu 40% durch Wärmepumpen und zu 40% durch Fernwärme ersetzt.

Kochen

Das benötigte Gas zum Kochen wird zu 100% durch Biogas ersetzt, die derzeit verwendete Kohle wird vollständig durch elektrische Energie substituiert.

Sonstiges

Der sonstige Verbrauch der privaten Haushalte bezieht sich ausschließlich auf den Verbrauch von elektrischer Energie, welcher nicht substituiert wird.

4.2.5. Landwirtschaft

Raumwärme und Prozesswärme

In der Landwirtschaft muss ebenfalls hauptsächlich thermische Energie durch alternative Energieträger ersetzt werden. Öl und Gas werden zu 80% anhand fester biogener Brennstoffe ersetzt und zu 20% durch Wärmepumpen.

Traktion

Das Öl, welches für Traktion benötigt wird, wird zu 30% durch elektrische Energie und zu 70% durch Wasserstoff ersetzt, aufgrund der Annahme, dass die meisten Traktoren große Energiemengen innerhalb kurzer Zeit aufnehmen können müssen. Bei der Umstellung zu elektrischer Energie werden 75% der Energie eingespart, bei Wasserstoff 50% [22].

Standmotoren

Die Substitution der Standmotoren wird gleich dem Industriesektor (Kapitel 4.2.1) durchgeführt.

Beleuchtung & IT

Die elektrische Energie für Beleuchtung & IT wird nicht ersetzt.

⁴Aktuell (10.7.2021) wird der Ausstieg von Gas im Heizen in den Medien diskutiert, jedoch wurden noch keine Maßnahmen fixiert. Deshalb wird ein Anteil an grünem Gas beibehalten.

4.3. Berechnung des benötigten Primärenergieaufkommens

In den folgenden Kapiteln wird das benötigte Primärenergieaufkommen berechnet. Diese wird für vier unterschiedliche Szenarien durchgeführt, um mögliche Schwankungen im Verbrauch oder den Wirkungsgraden abzudecken. Als Grundlage dient das Basisszenario. Von diesem werden die Verbrauchsszenarien "Wachstum" und "Effizienz", sowie das Technologieszenario abgeleitet.

4.3.1. Basisszenario

Das Basisszenario stellt eine durchschnittliche Entwicklung des Endenergieverbrauchs dar. Aufgrund des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums müsste man bei einem zukünftigen Szenario davon ausgehen, dass der Endenergieverbrauch weiter ansteigt. Wie Abbildung 4.1 zeigt, ist der Bruttoinlandsverbrauch in den letzten 13 Jahre konstant geblieben. Genauer betrachtet, ist er in diesem Zeitraum um 0,1% pro Jahr gesunken [1]. Dieser geringe Rückgang erklärt sich anhand der steigenden Effizienz der Nutzung der Energie (z.B.: Wärmedämmung bei Gebäuden). Daher wird für dieses Szenario der derzeitige Bruttoinlandsverbrauch, als Referenz für den zukünftigen Energieverbrauch angenommen.

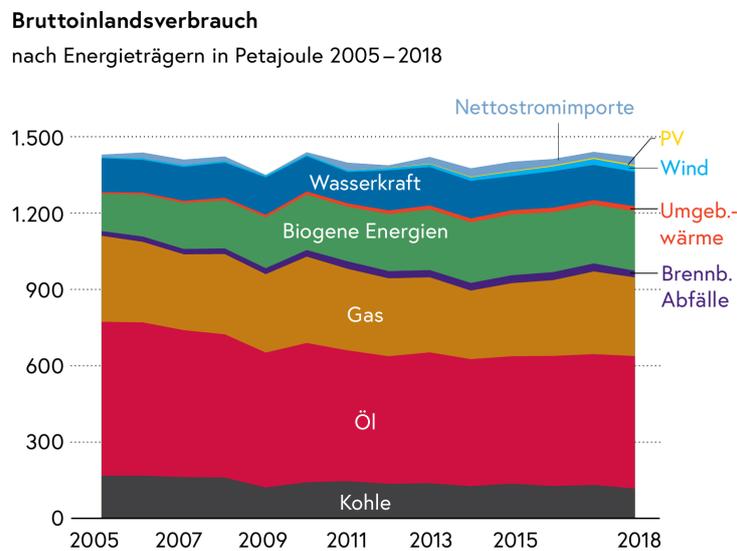


Abbildung 4.1: Der Bruttoinlandsverbrauch von Österreich nach Energieträgern von 2005 bis 2018 [1]

Ein essenzieller Faktor, um aus dem Endenergieverbrauch den Bruttoenergieverbrauch bestimmen zu können sind die benötigten Umwandlungsschritte und deren Wirkungsgrade. Die notwendigen Umwandlungsschritte für dieses Szenario belaufen sich auf die Umwandlung von elektrischer Energie zu Wasserstoff, von Wasserstoff zu synthetischem Treibstoff und zu synthetischem Methan, sowie in kalorischen Anlagen von brennbaren Abfällen und biogener Energie in elektrische Energie und Fernwärme. Die Wirkungsgrade der Umwandlungsprozesse hängen von einer Vielzahl an Faktoren ab. Dazu zählen, die eingesetzten Energieträger, die verwendete Technologie der Umwandlung, aber auch die Herkunft von CO₂ bei der Produktion synthetischer Brennstoffe. Die für die Berechnung verwendeten Wirkungsgrade sind in Tabelle 4.1 eingetragen.

Es gibt unterschiedliche Arten zur Produktion von Wasserstoff: Elektrolyse und Abspaltung aus Erdgas, Erdöl oder Biomasse. Da es sich bei der Gewinnung aus Erdgas und Erdöl um keinen nachhaltigen Prozess handelt, wird dieser nicht in Betracht gezogen. Die Gewinnung aus Biomasse ist sehr wohl nachhaltig, jedoch wird Biomasse ebenfalls für andere Verbraucher und Umwandlungen benötigt und wird daher ebenfalls nicht verwendet. Der Wirkungsgrad der Elektrolyse von Wasser hängt stark davon ab bei welcher Temperatur und Druck diese stattfindet und ob der Wasserstoff zum Transport beziehungsweise zur Lagerung komprimiert wird. Für Großanlagen ist ein Wirkungsgrad von 75% durchaus realistisch. [26]

Bei der Synthetisierung von Wasserstoff zu synthetischem Treibstoff hat die Herkunft des benötigten CO₂ einen großen Einfluss auf den Wirkungsgrad des Prozesses. Wird das CO₂ direkt aus der Luft gewonnen, ist der Wirkungsgrad deutlich niedrig (56%) und steigt, wenn als CO₂-Quelle Gase einer Verbrennung (65%) beziehungsweise Fermentationsgase von Biomasse (74%) verwendet werden [24].

Bei der Produktion von synthetischem Methan hat der Kompressionsgrad nach der Methanisierung Einfluss auf den Wirkungsgrad. Dabei wurde ein mittlerer Wirkungsgrad von 76% für eine Kompression auf 80 *bar* angenommen [26].

Die Kopplung von Wärme und elektrischer Energie bei thermischen Kraftwerken führt zu deutlich höheren Wirkungsgraden als bei einer rein elektrischen Nutzung. Aktuell wird die Technik hauptsächlich in Kombination mit fossilen Brennstoffen betrieben, kann aber problemlos bei der Abfallverwertung oder im Biomassebetrieb eingesetzt werden. So können für die Produktion von elektrischer Energie Wirkungsgrade von 38% erreicht werden und für thermische Energie zusätzlich 50% [27].

Energieträger vor der Umwandlung	Energieträger nach der Umwandlung	Wirkungsgrad [%]
Elektrische Energie	Wasserstoff H_2	75
Wasserstoff H_2	Synthetic Fuel	67
Wasserstoff H_2	Synthetic Methan	76
Brennbare Abfälle (KWK)	Elektrische Energie	38
	Fernwärme	50
Biogene Energie (KWK)	Elektrische Energie	38
	Fernwärme	50

Tabelle 4.1: Wirkungsgrade der Umwandlungsschritte im Basisszenario

Aufgrund der Umwandlungsschritte lässt sich der benötigte Endenergieverbrauch aus unzähligen Kombinationen von Primärenergieträgern beziehungsweise Mengen dieser Primärenergieträger zusammensetzen. Die genaue Zusammensetzung der Mengen entwickelt sich aus der Verfügbarkeit, der Wirtschaftlichkeit und auch aufgrund des aktuellen Bestands der Anlagen und hat daher einige Einflussfaktoren.

Der aktuelle Bestand wird in diesem Szenario nicht mehr berücksichtigt, ausgenommen dem Bestand an erneuerbaren Energien. Denn der restliche Bestand der Energieversorgung stellt keinen nachhaltigen Prozess dar. Der Einfluss der Wirtschaftlichkeit wird insofern berücksichtigt, sodass möglichst effiziente Umwandlungsschritte gewählt werden. Deshalb wird nicht mehr Biomasse in kalorischen Anlagen verwertet, als an thermischer Energie für Fernwärme benötigt wird und der Rest der benötigten elektrischen Energie von anderen Ressourcen bezogen wird.

Die Verfügbarkeit der einzelnen Energieträger wird anhand der theoretischen Potentiale abgeschätzt, übersteigt die benötigte Energiemenge dieses, wird angenommen die restliche Menge zu importieren.

Grünes Gas setzt sich aus Biomethan und synthetischem Methan zusammen. Die Produktion wird jeweils zur Hälfte auf beide Energieträger aufgeteilt, um beide Potentiale gleichmäßig zu beanspruchen.

Die Produktion der elektrischen Energie setzt sich hauptsächlich aus Photovoltaik, Windenergie und Wasserkraft zusammen. Die produzierte Menge durch KWK-Anlagen wird, wie erwähnt, nur durch die benötigte Menge an Fernwärme beeinflusst. Um die Potentiale der drei Haupttechnologien zur Stromerzeugung gleichmäßig auszuschöpfen, wird jedes Potential im gleichen Verhältnis verwendet.

4.3.2. Verbrauchsszenario - Wachstum

Das Verbrauchsszenario - Wachstum spiegelt einen steigenden Endenergieverbrauch von 10% im Vergleich zum angenommenen Endenergieverbrauch des Basisszenarios wider. Dieser könnte aufgrund eines außergewöhnlich starken Bevölkerungswachstums und eines steigenden Wirtschaftswachstums eintreten. Ein erhöhter Verbrauch kann sich auch aus nicht durchgeführten Maßnahmen zur Effizienzsteigerung ergeben.

Die Wirkungsgrade der Umwandlungsschritte werden von dem Basisszenario übernommen und sind von Tabelle 4.1 abzulesen.

4.3.3. Verbrauchsszenario - Effizienz

Im Gegensatz zum Wachstumsszenario stellt das Effizienzzenario einen um 10% geringeren Endenergieverbrauch im Vergleich zum Basisszenario dar. Ein geringerer Verbrauch könnte durch eine stark gesteigerte Effizienz der Energienutzung erreicht werden. Die Wirkungsgrade der Umwandlungsschritte werden ebenfalls von dem Basisszenario übernommen.

4.3.4. Technologieszenario

Im Technologieszenario wird eine mögliche technologische Entwicklung und somit höhere Wirkungsgrade der Umwandlungsschritte dargestellt. Dabei wird von dem gleichen Endenergieverbrauch wie im Basisszenario ausgegangen, unter der gleichen Annahme, dass sich der steigende Energieverbrauch mit der steigenden Energieeffizienz ausgleicht. Um diesen technologischen Fortschritt darzustellen, werden die maximalen Wirkungsgrade der Umwandlungsschritte gewählt. Die verwendeten Wirkungsgrade sind in Tabelle 4.2 eingetragen.

Energieträger vor der Umwandlung	Energieträger nach der Umwandlung	Wirkungsgrad [%]
Elektrische Energie	Wasserstoff H_2	91
Wasserstoff H_2	Synthetic Fuel	84
Wasserstoff H_2	Synthetic Methan	85
Brennbare Abfälle (KWK)	Elektrische Energie	43
	Fernwärme	53
Biogene Energie (KWK)	Elektrische Energie	43
	Fernwärme	53

Tabelle 4.2: Wirkungsgrade der Umwandlungsschritte im Technologieszenario [28] [24] [29]

5. Ergebnisse & Diskussion

In diesem Kapitel folgt die Diskussion der Ergebnisse der Berechnungen der vier Szenarien, sowie der Potentialausnutzung und der Speicherung.

5.1. Basisszenario

In Abbildung 5.1 ist der berechnete Energiefluss des Basisszenarios dargestellt. Insgesamt werden 1.102,9 PJ Primärenergie benötigt, dies entspricht einer Reduktion um 314,1 PJ gegenüber dem Nettoprimärenergieaufkommen des Jahres 2018. Diese Reduktion ergibt sich hauptsächlich durch Energieeinsparungen im Transport aufgrund der Umstellung von Verbrennungsmotoren zu batterieelektrischen Fahrzeugen und Wasserstoff-Fahrzeugen.

Der insgesamt Bedarf an elektrischer Energie steigt fast um das Dreifache auf 630,3 PJ an. Ein Drittel der elektrischen Energie wird für die Produktion von Wasserstoff, synthetischem Gas und synthetischem Treibstoff benötigt. Der direkte Verbrauch an elektrischer Energie steigt um circa 50% an. Die Potentiale für elektrische Energie reichen aus, wobei 85% des technischen Potentials von PV, Wasserkraft und Windenergie ausgeschöpft werden müssen und somit am oberen Ende der Potentialabschätzungen liegen. Diese Abschätzung legt einen sehr starken Zubau von Wind und PV nahe, da das 10 beziehungsweise 30-fache der derzeit installierten Leistung benötigt wird.

Unter der Annahme, dass der benötigte Wasserstoff importiert wird, würde sich eine Reduktion der benötigten elektrischen Energie um 221,8 PJ ergeben. Somit würde sich die benötigte elektrische Energie von Wasserkraft, Wind und PV auf circa 310 PJ reduzieren. In Anbetracht der Potentiale dieser Energieträger kann diese Energiemenge als sehr realistisch eingeschätzt werden.

Neben der elektrischen Energie wird Biomasse eine entscheidende Rolle in einem zukünftigen Energiesystem einnehmen. In erster Linie für die Bereitstellung von thermischer Energie, direkt oder indirekt als Fernwärme. Jedoch reichen die Biomassepotentiale in Österreich nicht aus, um diesen Bedarf zu decken und es müssen 95,6 PJ importiert werden. Die benötigte Menge an Biomethan übersteigt mit 44,3 PJ nicht das Potential von 59,8 PJ, somit muss keine weitere Biomasse vergast werden.

Basisszenario

Angaben in PJ

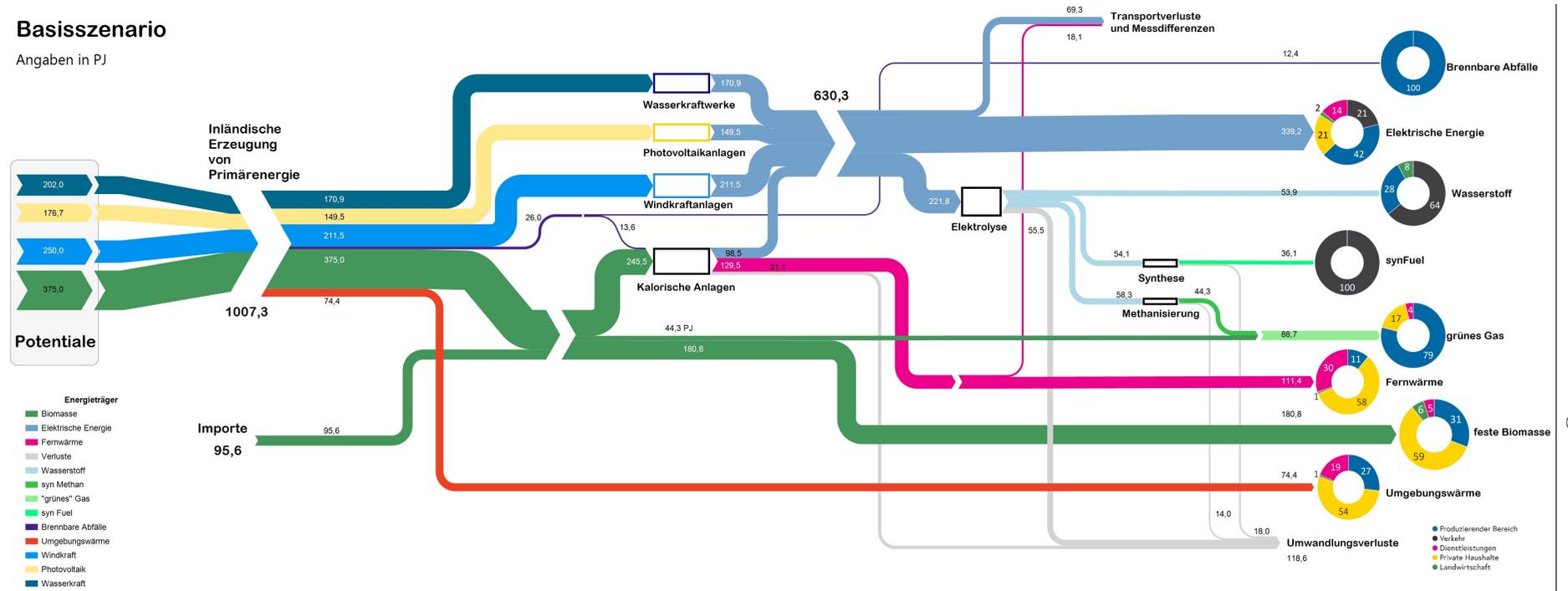


Abbildung 5.1: Berechneter Energiefluss des Basisszenario

Die Umwandlungsverluste steigen im Vergleich zu dem Jahr 2018 (91 PJ) auf 118,6 PJ an. Circa die Hälfte der Umwandlungsverluste fällt bei der Elektrolyse zur Produktion von Wasserstoff an. Obwohl circa 50% mehr Fernwärme benötigt wird, sinken die Umwandlungsverluste in den kalorischen Anlagen ab. Dies ist auf den Einsatz von KWK-Anlagen zurückzuführen.

Entsprechend dem hohen Aufkommen an elektrischer Energie und Fernwärme, steigen die Transportverluste in diesen Bereichen an.

Die benötigte Energiemenge an Umgebungswärme ist im Vergleich zu den anderen Energieträgern gering, obwohl der Verbrauch gegenüber dem Jahr 2018 um das Vierfache ansteigt.

Die Aufteilung des Energieflusses in die einzelnen Sektoren ändert sich ebenfalls stark im Vergleich zu dem Jahr 2018. Abbildung 5.2 zeigt den Energiefluss der Sektoren des Basisszenarios. Der Sektor mit dem höchsten Energieverbrauch ist nun die Industrie, gefolgt von den privaten Haushalten und dem Verkehr. Der geringere Verbrauch des Verkehrssektors ist, wie schon erwähnt, auf die Energieeinsparungen aufgrund der Elektromobilität zurückzuführen. In der Industrie und der Landwirtschaft wird geringfügig weniger Energie benötigt. In der Industrie sind die Einsparungen auf die Umstellung von Öl und Gas betriebenen Standmotoren auf elektrisch beziehungsweise mit Wasserstoff betriebene Standmotoren zurückzuführen. In der Landwirtschaft findet die Einsparung in der Traktion, ebenfalls aufgrund des Einsatzes von elektrischer Energie und Wasserstoff, statt. Der Verbrauch der privaten Haushalte und des Dienstleistungssektors hat sich nicht verändert.

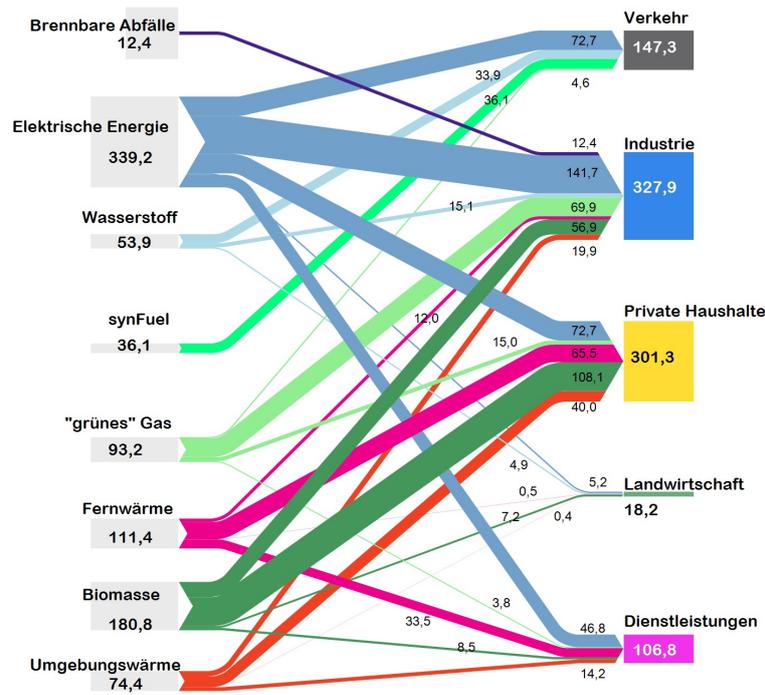


Abbildung 5.2: Energieverbrauch der Sektoren im Basisszenario (Angaben in PJ)

Der Verkehrssektor unterliegt der stärksten Veränderung bezogen auf die eingesetzten Energieträger und der benötigten Mengen. In den Abbildungen 5.3 und 5.4 sind die Energieflüsse des Verkehrssektors im Basisszenario und im Jahr 2018 dargestellt. Der Energieverbrauch sinkt von 395,8 PJ im Jahr 2018 auf 147,3 PJ im Basisszenario ab. Dies entspricht einer Reduktion um 63% der ursprünglich benötigten Energie. Nicht nur die Energiemenge verändert sich, sondern auch die Anteile der Energieträger. Wird im Jahr 2018 im Verkehr hauptsächlich Öl eingesetzt, teilt sich die Energie im Basisszenario auf elektrische Energie, Wasserstoff, synthetische Treibstoffe und grünes Gas auf.

Der meist genutzte Energieträger des Verkehrssektors ist mit 72,7 PJ die elektrische Energie. Gefolgt von Wasserstoff und synthetischem Treibstoff, welche circa in gleichem Ausmaß eingesetzt werden. Die weiteren Vergleiche der Energieverbräuche der Sektoren sind im Anhang in den Abbildungen A.4 - A.7 zu sehen, dabei treten hauptsächlich Umstellungen der Energieträger auf und nur geringere Energieeinsparungen.

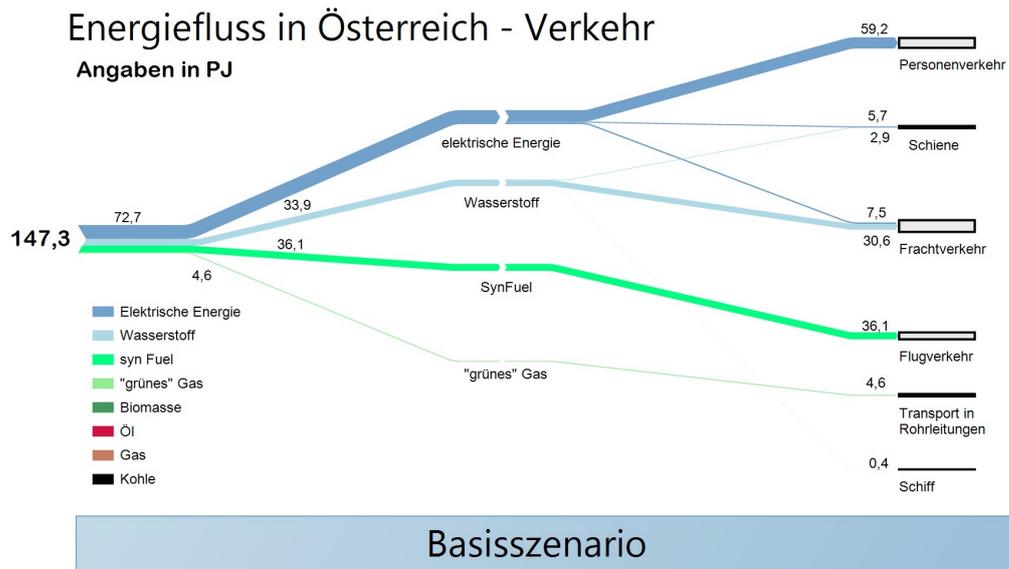


Abbildung 5.3: Energiefluss des Verkehrssektors im Basisszenario

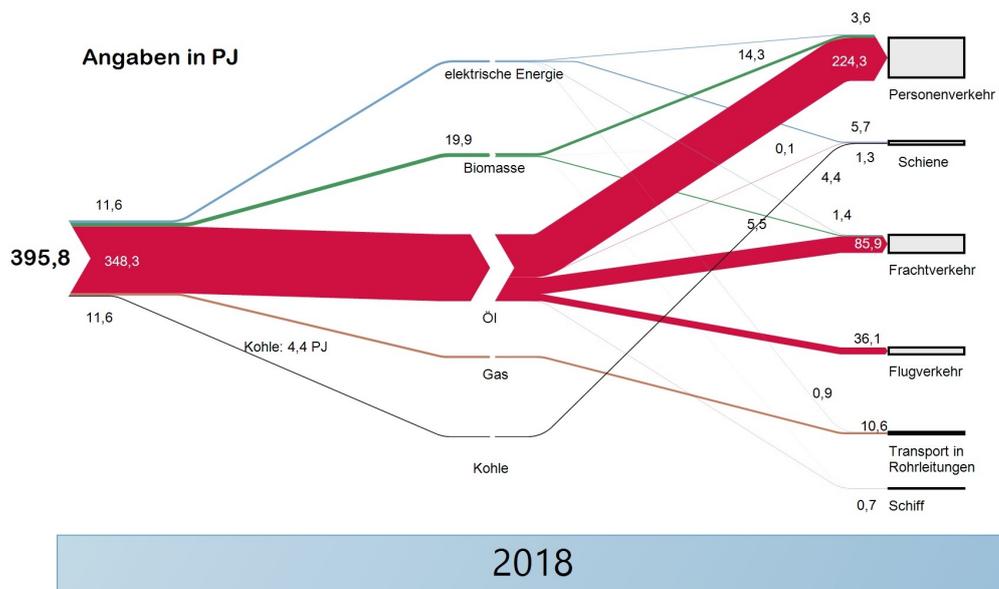


Abbildung 5.4: Energiefluss des Verkehrssektors im Jahr 2018

Abbildung 5.5 zeigt den Vergleich des Primärenergieaufkommens des Jahres 2018 und des Basisszenarios, um die Veränderung der Importquote zu verdeutlichen. Dabei ist zu beachten, dass in den Werten des Jahres 2018 Exporte mit inbegriffen sind, im Basisszenario jedoch keine Exporte angenommen werden. Die Menge der inländisch produzierten Energie verdoppelt sich von 500 PJ im Jahr 2018 auf 1.007,3 PJ im Basisszenario. Vergleicht man die Importe des Basisszenarios mit den Nettoimporten aus Tabelle 2.1, sind nunmehr ein Zehntel der Importe des Jahres 2018 notwendig, die Importe des Basisszenarios beschränken sich dabei ausschließlich auf Biomasse. Die Einlagerung von Energie wird in diesen Berechnungen nicht berücksichtigt, darauf wird in Kapitel 5.6 genauer eingegangen.

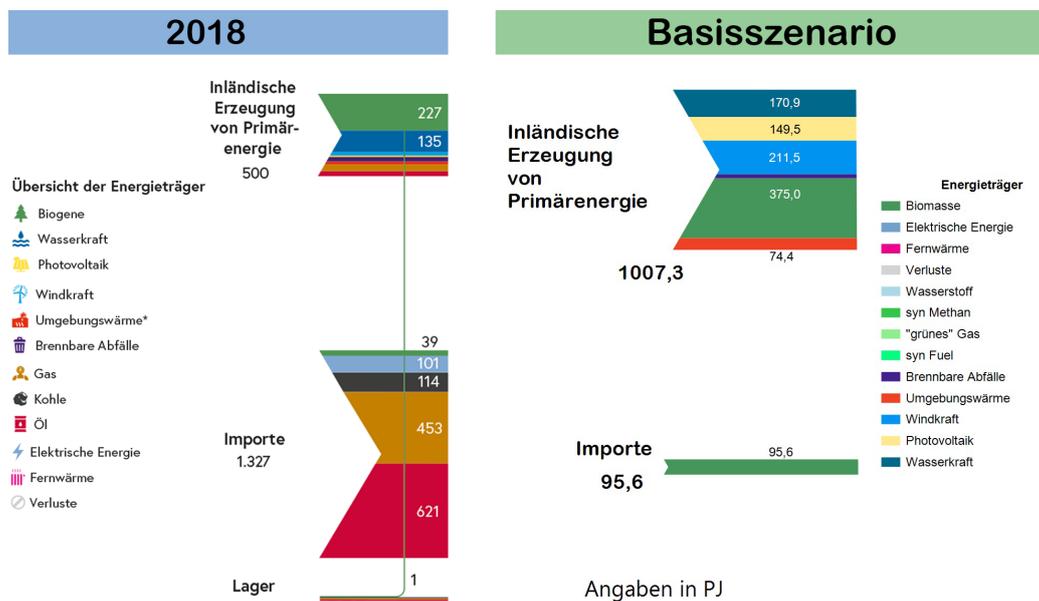


Abbildung 5.5: Vergleich des Energieaufkommens des Jahres 2018 und des Basisszenarios

5.2. Verbrauchsszenario - Wachstum

Im Wachstumsszenario steigt die importierte Biomasse auf 153,4 PJ an, siehe Abbildung 5.6. Das Potential inländischer elektrischer Energieerzeugung wird fast vollständig ausgeschöpft, es sind jedoch keine Importe elektrischer Energie notwendig. Die weitere Aufteilung des Energieflusses ist, abgesehen der unterschiedlichen Mengen, gleich dem Basisszenario. Der gesamte Energiefluss ist im Anhang in Abbildung A.8 abgebildet. Die relative Aufteilung nach den Sektoren aus Abbildung 5.2 bleibt ebenfalls gleich. Trotz des erhöhten Verbrauchs übersteigt auch in diesem Szenario das benötigte Primärenergieaufkommen nicht das aktuelle Nettoprimärenergieaufkommen.

Wachstum - Szenario

Angaben in PJ

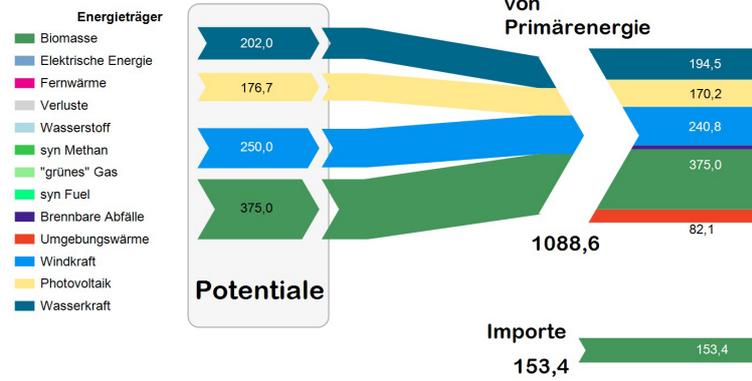


Abbildung 5.6: Ausschnitt des berechneten Energieflusses des Wachstum-Szenarios

5.3. Verbrauchsszenario - Effizienz

Die Ergebnisse des Effizienzszenarios sind in Abbildung A.9 im Anhang dargestellt. Trotz des geringeren Endenergieverbrauchs ist ebenfalls der Import von Biomasse notwendig, aber in geringerer Menge von 48 PJ. Die Potentiale von Wasserkraft, Wind und PV werden in diesem Szenario nur zu 77% ausgenutzt. Die Umwandlungsverluste sind jedoch trotz des geringeren Energieverbrauchs mit 108,3 PJ höher als im Jahr 2018.

5.4. Technologieszenario

Die berechneten Werte des Technologieszenarios (siehe Abbildung A.10 im Anhang) zeigen ein ähnliches Bild wie bei dem EffizienzszENARIO, vor allem bei der Bereitstellung von elektrischer Energie. Die benötigte Energie in Form von Biomasse ist jedoch ähnlich dem Basisszenario, da sich die Effizienzsteigerung der Umwandlungsschritte hauptsächlich auf die benötigte elektrische Energie auswirkt, aufgrund der Elektrolyse und den weiteren Umwandlungen zu synthetischem Gas und synthetischem Treibstoff. Die Einsparungen durch die höheren Wirkungsgrade reichen nicht aus, um einen ähnlich niedrigen Verbrauch wie bei dem EffizienzszENARIO zu erreichen. Die Umwandlungsverluste sinken um 64,7% (76,8 PJ) im Vergleich zu denen des Basisszenarios und sind somit auch deutlich niedriger als die aktuellen Umwandlungsverluste.

5.5. Potentialnutzung

Die Studienbandbreiten der Potentiale und die Potentialnutzung der vier Szenarien sind in Abbildung 5.7 dargestellt. Zusätzlich ist die Nutzung der Energieträger im Jahr 2018 eingezeichnet. Biomasse und Wasserkraft werden im Vergleich zu PV und Windkraft schon jetzt sehr stark genutzt, trotzdem ist bei beiden ebenfalls noch zusätzlicher Ausbau notwendig. Die Biomasse ist der einzige Energieträger, bei dem sich in keinem Szenario der Bedarf durch die inländische Produktion decken lässt. Bei den anderen Energieträgern wird das Potential nicht überschritten, jedoch ist eine sehr hohe Potentialausnutzung notwendig.

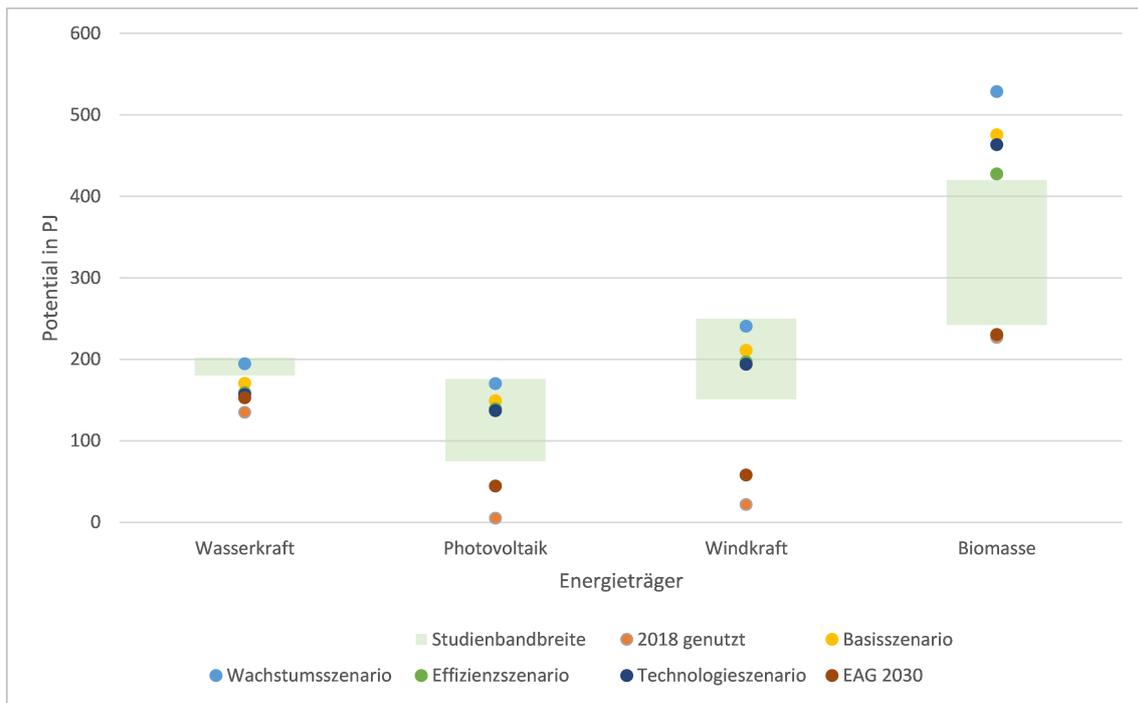


Abbildung 5.7: Studienbandbreite der Potentiale und Nutzungsgrad der jeweiligen Szenarien

Auch wenn die Potentiale großteils ausgenutzt werden müssten, besteht die Möglichkeit, dass die Potentiale mit weiteren Entwicklungen noch weiter ansteigen. Vor allem bei der Nutzung von PV, aber auch bei Windkraft könnte durch eine effizientere Nutzung mehr Energie, bei gleichbleibendem Ressourcenaufwand, gewonnen werden.

5.6. Speicherung

Aufgrund der Volatilität von PV und Wind wird in Zukunft Energie gespeichert werden, um zwischen Erzeugung und Verbrauch einen Ausgleich zu schaffen. Wie viel der erzeugten Energie zwischengespeichert werden müsste und nicht direkt verbraucht werden könnte ist schwer abzuschätzen. Da die Speicherung in jedem Fall Verluste verursachen würde und die Potentialgrenzen schon erreicht sind, stellt diese eine weitere zukünftige Herausforderung dar. Unter der Annahme, dass die Hälfte der elektrischen Energie gespeichert werden muss und die Speicherung einen Wirkungsgrad von 80% aufweist, wären 10% zusätzliche elektrische Energie notwendig. Diese Steigerung entspricht den Berechnungen des Wachstumsszenarios, welches allerdings eine sehr hohe Potentialauslastung hat und eine rein inländische Produktion an elektrischer Energie sehr unwahrscheinlich erscheint.

6. Zusammenfassung

Österreich hat durch die Wasserkraft einen großen Vorteil gegenüber anderen Ländern bei der Produktion von elektrischer Energie und muss wenige fossile Energieträger einsetzen, um diese zu erzeugen. Doch abseits der elektrischen Energie ist der Einsatz fossiler Energien in den Bereichen Verkehr und thermischer Energie sehr hoch und nicht zu vernachlässigen. Daher sollte es eines der größten Anliegen sein diese Energieträger möglichst bald durch erneuerbare Energien zu ersetzen. In fast allen Bereichen sind zu diesem Zeitpunkt schon ausreichende Technologien verfügbar, welche für diese Umstellung notwendig sind. Zusätzlich sind einige ungenutzte Energiepotentiale in Österreich, vor allem in den Bereichen: Photovoltaik und Windkraft, vorhanden. Das setzt jedoch einen enormen Ausbau im Vergleich zu der aktuell installierten Leistung voraus. Abgesehen der wirtschaftlichen Gegebenheiten besitzt Österreich großes Potential sich selbst mit Energie zu versorgen. Die Ergebnisse zeigen auch die Relevanz der elektrischen Energie als zukünftigen Zwischenenergieträger. Dies birgt Vorteile bei dem Transport, jedoch einige Schwierigkeiten bei der Speicherung. Ebenso relevant ist die effiziente Nutzung der vorhandenen Energieressourcen, denn auch wenn die Ergebnisse den Eindruck erwecken, dass die vorhandene Energie in Österreich ausreicht, sind die Potentiale stark beansprucht und die Ressourcen begrenzt.

Abkürzungsverzeichnis

A

B

BMNT Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

C

D

E

EE Erneuerbare Energie

EAG Erneuerbaren Ausbau Gesetz

F

G

H

I

IT Informationstechnik

J

K

KWK Kraft-Wärme-Kopplung

L

M

N

O

P

PV Photovoltaik

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z

Abbildungsverzeichnis

2.1. Energieflussdiagramm Österreichs 2018 [1]	4
2.2. Energieverbrauch der Sektoren im Jahr 2018 (Angaben in PJ)	7
4.1. Der Bruttoinlandsverbrauch von Österreich nach Energieträgern von 2005 bis 2018 [1]	21
5.1. Berechneter Energiefluss des Basisszenario	27
5.2. Energieverbrauch der Sektoren im Basisszenario (Angaben in PJ)	29
5.3. Energiefluss des Verkehrssektors im Basisszenario	30
5.4. Energiefluss des Verkehrssektors im Jahr 2018	30
5.5. Vergleich des Energieaufkommens des Jahres 2018 und des Basisszenarios .	31
5.6. Ausschnitt des berechneten Energieflusses des Wachstum-Szenarios	32
5.7. Studienbandbreite der Potentiale und Nutzungsgrad der jeweiligen Szenarien	34
A.1. Energieflussdiagramm Österreichs 2018 [1]	41
A.2. Berechneter Energiefluss des Basisszenarios	42
A.3. Vergleich des Energieverbrauchs im Verkehrssektor im Jahr 2018 und im Basisszenario	43
A.4. Vergleich des Energieverbrauchs im Industriesektor im Jahr 2018 und im Basisszenario	44
A.5. Vergleich des Energieverbrauchs in den privaten Haushalten im Jahr 2018 und im Basisszenario	45
A.6. Vergleich des Energieverbrauchs im Dienstleistungssektor im Jahr 2018 und im Basisszenario	46
A.7. Vergleich des Energieverbrauchs im Landwirtschaftssektor im Jahr 2018 und im Basisszenario	47
A.8. Berechneter Energiefluss des Wachstumszenarios	48
A.9. Berechneter Energiefluss des Effizienzzenarios	49
A.10. Berechneter Energiefluss des Technologieszenarios	50

Tabellenverzeichnis

2.1. Nettoenergieimporte in Österreich [1]	3
2.2. Energiemengen inländischer Energieerzeugung [1]	5
2.3. Endenergieverbrauch je Energieträger [1]	6
2.4. (1) Endenergiebedarf des produzierenden Bereichs nach Energieträger und Verbraucher aufgetragen [2]	8
2.5. (2) Endenergiebedarf des produzierenden Bereichs nach Energieträger und Verbraucher aufgetragen [2]	8
2.6. Endenergiebedarf des Verkehrs nach Energieträger und Verbraucher [3]	9
2.7. Endenergiebedarf des Dienstleistungssektors nach Energieträger und Verbraucher aufgetragen [4]	10
2.8. Endenergiebedarf der privaten Haushalte nach Energieträger und Verbraucher [5]	10
2.9. Endenergiebedarf der Landwirtschaft nach Energieträger und Verbraucher aufgetragen [6]	11
3.1. Photovoltaik Potentiale unterschiedlicher Installationsorte [13]	14
4.1. Wirkungsgrade der Umwandlungsschritte im Basisszenario	23
4.2. Wirkungsgrade der Umwandlungsschritte im Technologieszenario [28] [24] [29]	25

Literaturverzeichnis

- [1] BMNT, „Energie in Österreich 2019 – Zahlen, Daten, Fakten,“ 2018.
- [2] R. Geyer, S. Knöttner, C. Diendorfer u. a., „Energieinfrastruktur für 100 % Erneuerbare Energie in der Industrie.“
- [3] Statistik Austria, *Verkehr*, 2018. Adresse: <https://statcube.at>.
- [4] Statistik Austria, *Dienstleistungen*, 2018. Adresse: <https://statcube.at>.
- [5] Statistik Austria, *Haushalte*, 2018. Adresse: <https://statcube.at>.
- [6] Statistik Austria, *Landwirtschaft*, 2018. Adresse: <https://statcube.at>.
- [7] Pöyry und M. Fuchs, „Wasserkraftpotenzialstudie Österreich 2018,“ 2018.
- [8] M. Bliem, B. Friedl, T. Balabanov u. a., „Energie [R]evolution Österreich 2050,“ Institut für Höhere Studien, 2011.
- [9] M. S. Moidl und M. H. Winkelmeier, „Neubewertung des Potentials zur Nutzung der Windkraft in Österreich bis zum Jahr 2030,“ 2018.
- [10] G. Stanzer, *REGIO Energy*, Österreichisches Institut für Raumplanung, 2009. Adresse: <http://regioenergy.oir.at/windenergie/reduziertes-technisches-potenzial>.
- [11] H. Winkelmeier, S. Moidl und IG Windkraft, „Windpotentiale und Standortdifferenzierung,“ 2019.
- [12] W. Hans-Günther und E. Heinz, *Photovoltaik*. 2010, ISBN: 978-3-8348-0637-6.
- [13] H. Fechner, „Ermittlung des Flächenpotentials für den Photovoltaik-Ausbau in Österreich: Welche Flächenkategorien sind für die Erschließung von besonderer Bedeutung, um das Ökostromziel realisieren zu können,“ 2020.
- [14] R. Rauch, J. Hrbek und H. Hofbauer, „Biomass gasification for synthesis gas production and applications of the syngas,“ *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, Jg. 3, S. 343–362, 4 2014, ISSN: 2041840X. DOI: 10.1002/wene.97.
- [15] J. Lindorfer, M. K. Fazeni, R. Tichler u. a., „Erhöhung des Einsatzes von erneuerbarem Methan im Wärmebereich,“ 2017.
- [16] M. Kaltschmitt und W. Streicher, *Regenerative Energien in Österreich*. 2009.
- [17] C. Dißauer, B. Rehling und C. Strasser, „Machbarkeitsuntersuchung Methan aus Biomasse,“ 2019.
- [18] L. Kranzl und R. Haas, „Dynamik mit Verantwortung Strategien zur optimalen Erschließung der Biomassepotenziale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel

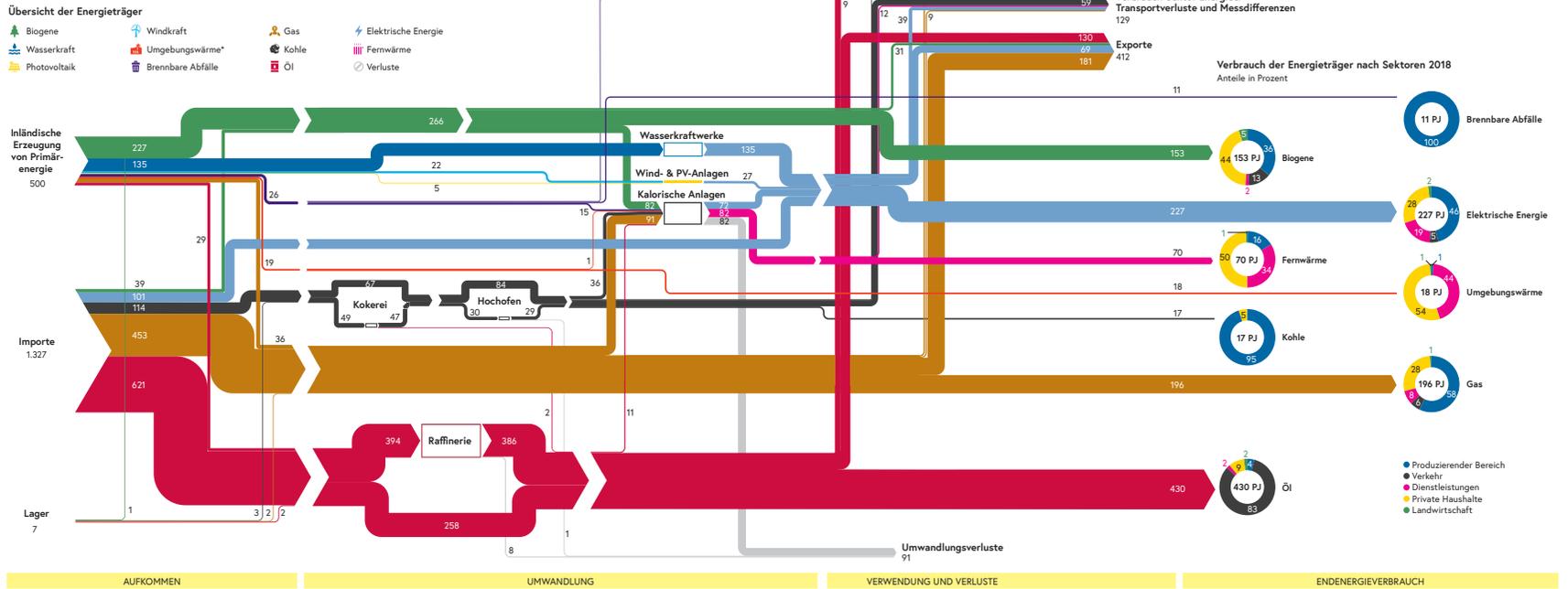
- einer maximalen Reduktion an Treibhausgasemissionen,“ 2009. Adresse: <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>.
- [19] R. Christian, R. Feichtinger, R. Christian u. a., „Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich,“ 2011. Adresse: <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>.
- [20] F. Häfner, R.-M. Wagner und L. Meusel, *Bau und Berechnung von Erdwärmeanlagen*. Springer Berlin Heidelberg, 2015. DOI: 10.1007/978-3-662-48201-8.
- [21] D.-P. M. Weigel, „Ganzheitliche Bewertung zukünftig verfügbarer primärer Stahlherstellungsverfahren,“ 2014. Adresse: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20150310-122418-6>].
- [22] M. Klell, „Wasserstoff als Energieträger in der Mobilität,“ 2016.
- [23] Statistik Austria, „KFZ-Zulassungen,“ 2020.
- [24] G. E. Agency, „Power-to-Liquids Potentials and Perspectives for the Future Supply of Renewable Aviation Fuel,“ 2020. Adresse: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/>.
- [25] L. Kranzl, A. Müller, I. Maia u. a., „Wärmezukunft 2050. Erfordernisse und Konsequenzen der Dekarbonisierung von Raumwärme und Warmwasserbereitstellung in Österreich Kurzfassung Autoren,“ 2018. Adresse: https://eeg.tuwien.ac.at/fileadmin/user_upload/projects/import-downloads/PR_469_Waermezukunft_2050_Kurzfassung.pdf.
- [26] U. H. M. S. Mareike Jentsch, „Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes Gutachten Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Kassel FuE-Bereich Energiewirtschaft und Netzbetrieb,“ 2011.
- [27] M. Pehnt, Hrsg., *Energieeffizienz*. Springer Berlin Heidelberg, 2010, ISBN: 978-3-642-14250-5. DOI: 10.1007/978-3-642-14251-2. Adresse: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-14251-2>.
- [28] S. Milanzi, C. Spiller, B. Grosse u. a., „Technischer Stand und Flexibilität des Power-to-Gas-Verfahrens,“ 2018.
- [29] O. Antoni und L. M. Berlin, „EVALUIERUNG DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG Analysen zur Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien,“ 2019. Adresse: www.prognos.com.

A. Anhang

Energiefluss in Österreich 2018

in Petajoule auf Basis der vorläufigen Energiebilanz 2018

 **Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus**



*) Solarthermie, Wärmepumpen, Geothermie
Das Diagramm wurde auf Basis der vorläufigen Energiebilanz für 2018 (Stand: 29. Mai 2019) sowie der Nutzenenergieanalyse für 2017 (Stand: 15. Dez. 2018) der Statistik Austria erstellt. Energieflüsse, die nicht in der vorläufigen Energiebilanz für 2018 ausgewiesen sind, wurden auf Basis der endgültigen Energiebilanz für 2017 abgeschätzt.

Abbildung A.1: Energieflussdiagramm Österreichs 2018 [1]

Basisszenario

Angaben in PJ

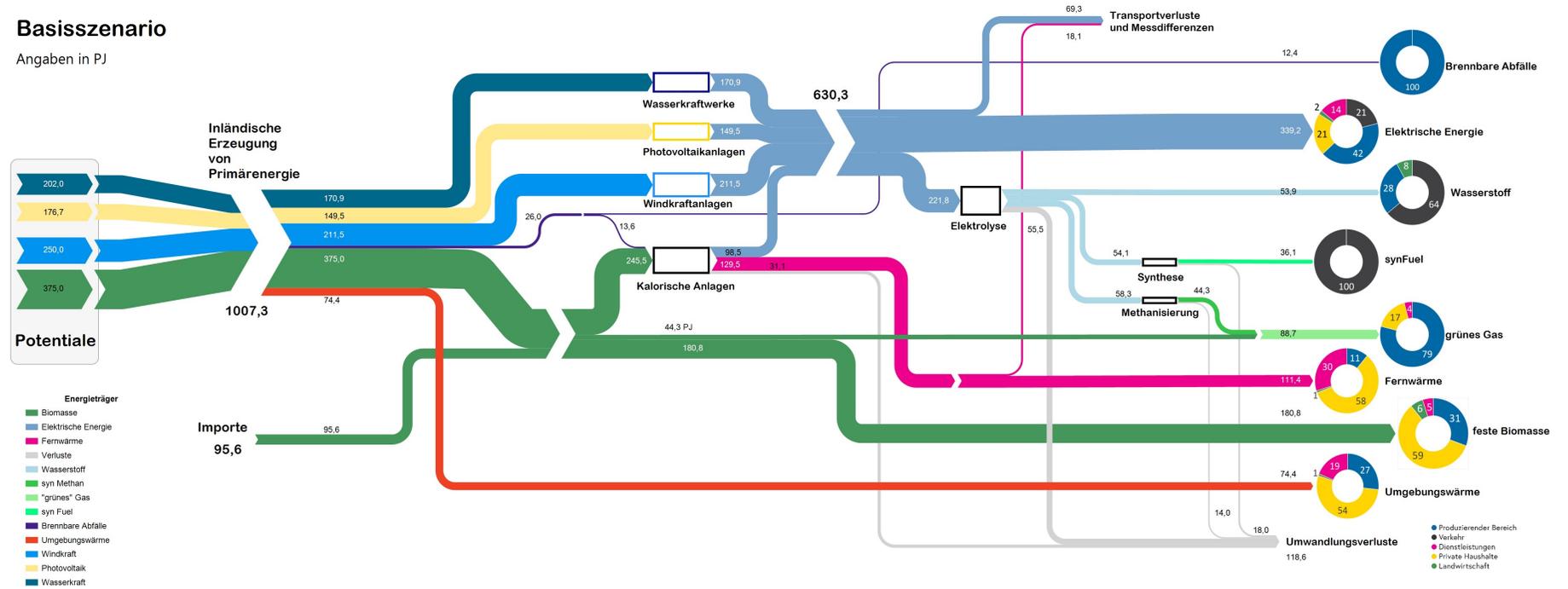


Abbildung A.2: Berechneter Energiefluss des Basisszenarios

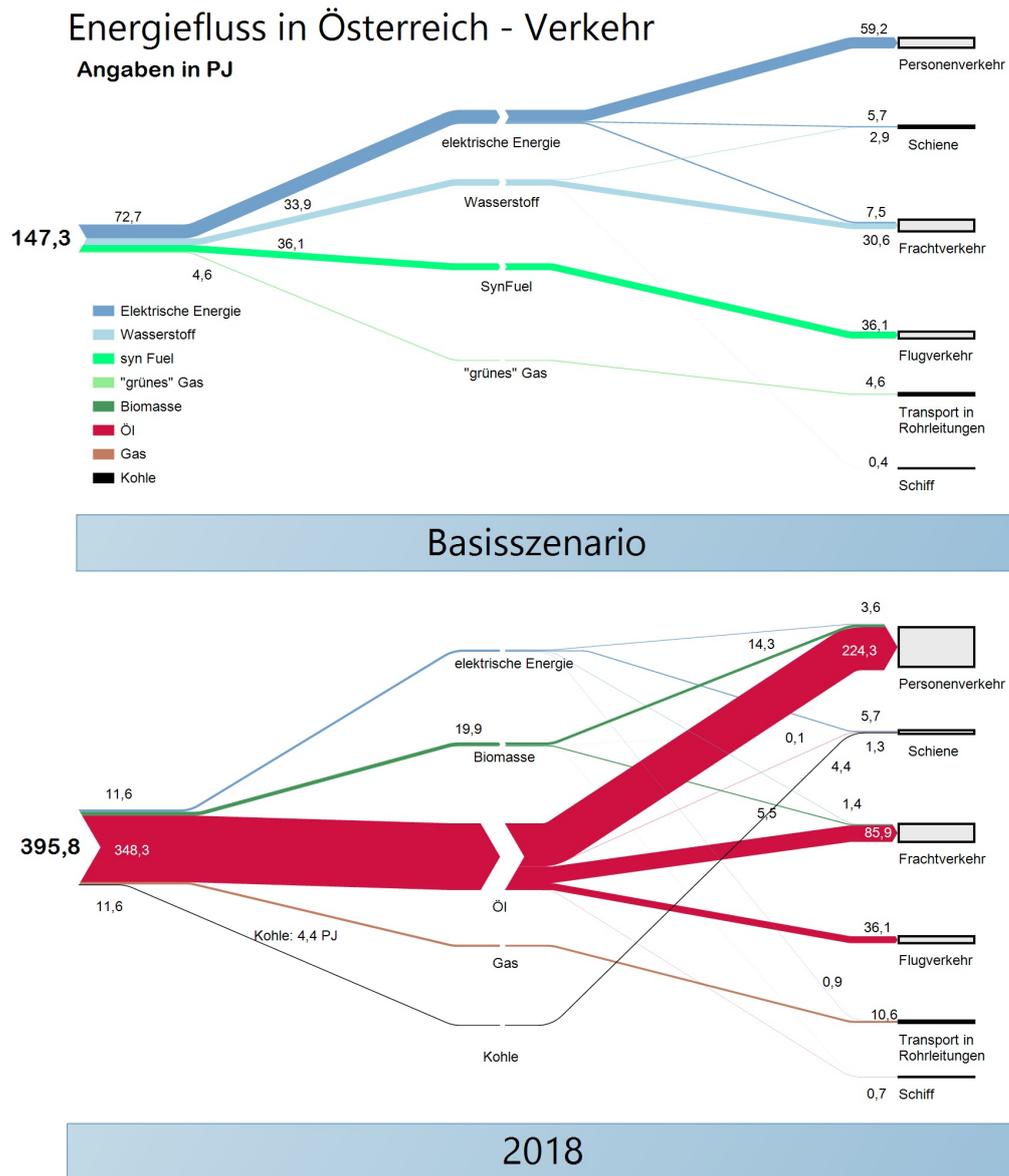
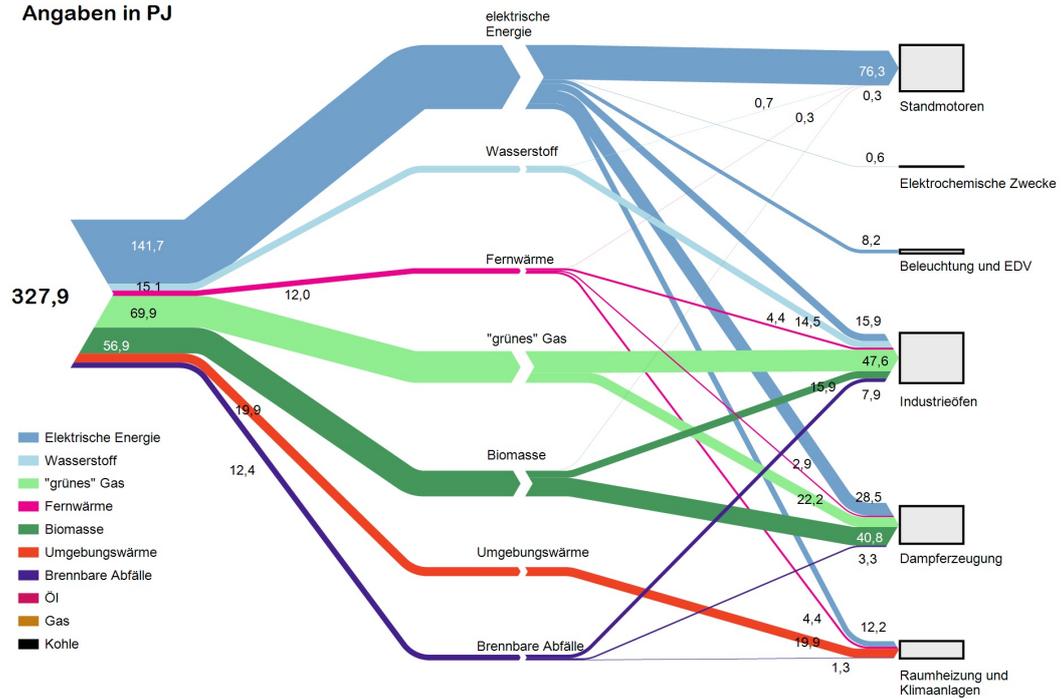


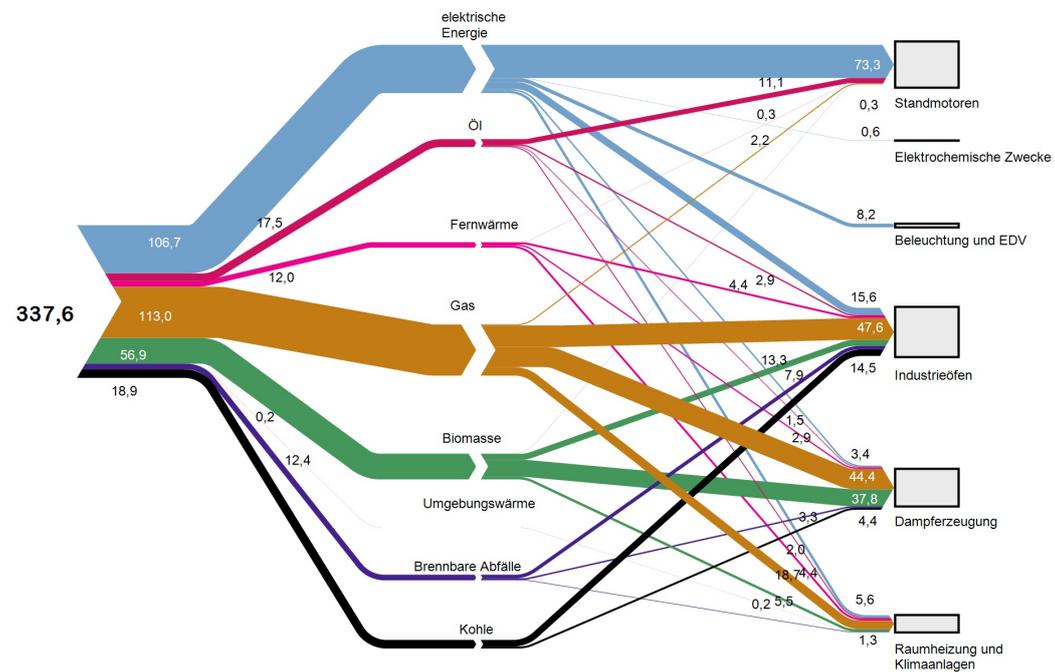
Abbildung A.3: Vergleich des Energieverbrauchs im Verkehrssektor im Jahr 2018 und im Basisszenario

Energiefluss in Österreich - Industrie

Angaben in PJ



100% erneuerbar



2018

Abbildung A.4: Vergleich des Energieverbrauchs im Industriesektor im Jahr 2018 und im Basisszenario

Energiefluss in Österreich - Private Haushalte

Angaben in PJ

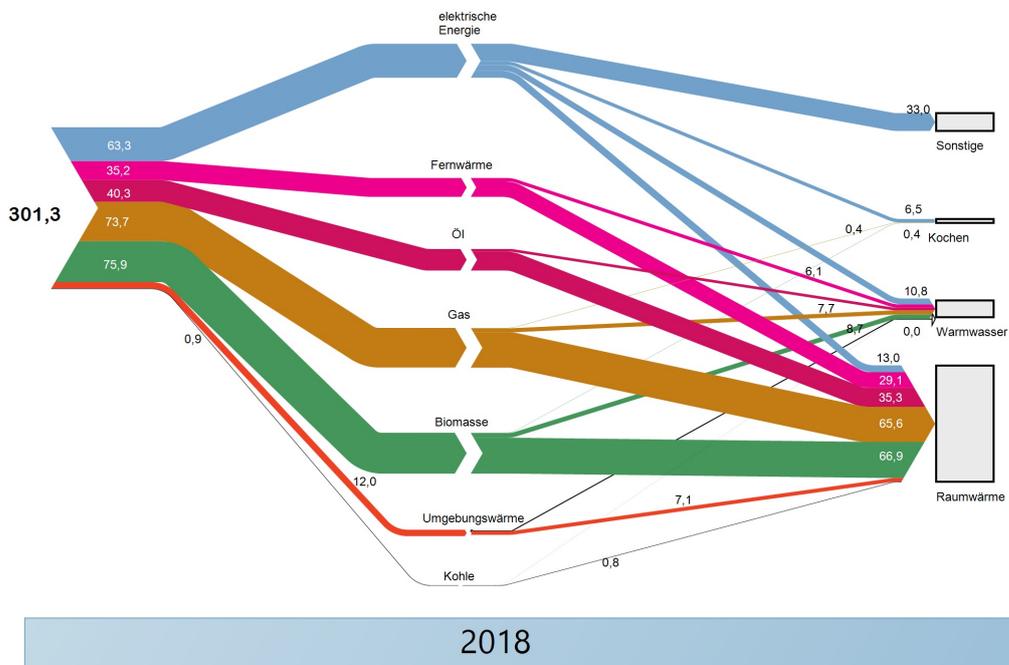
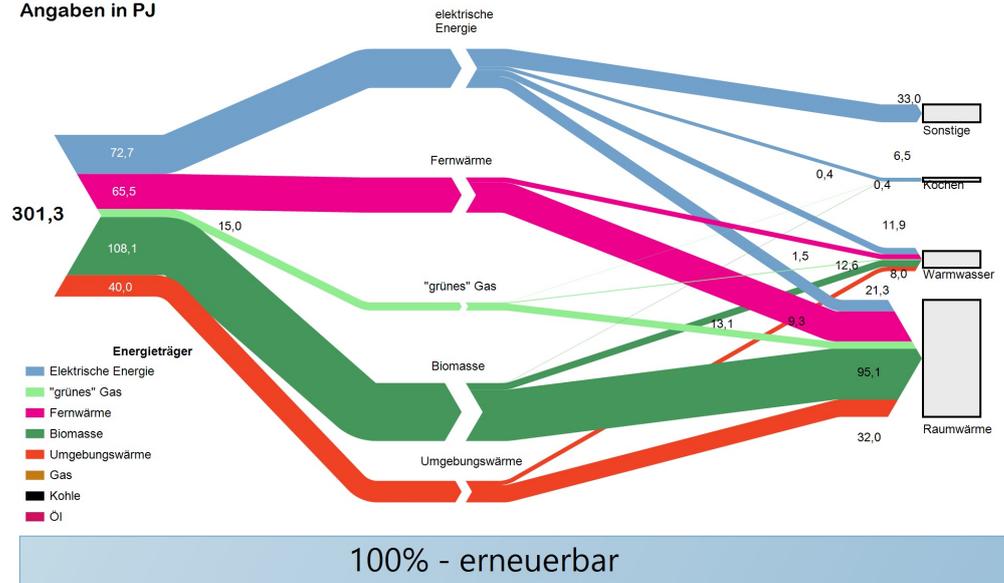


Abbildung A.5: Vergleich des Energieverbrauchs in den privaten Haushalten im Jahr 2018 und im Basisszenario

Energiefluss in Österreich - Dienstleistungen

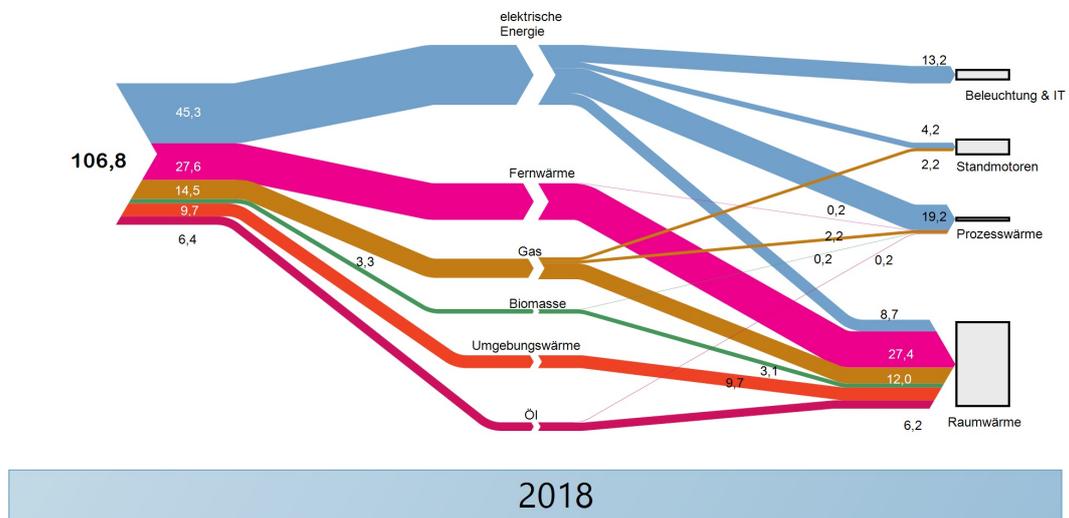
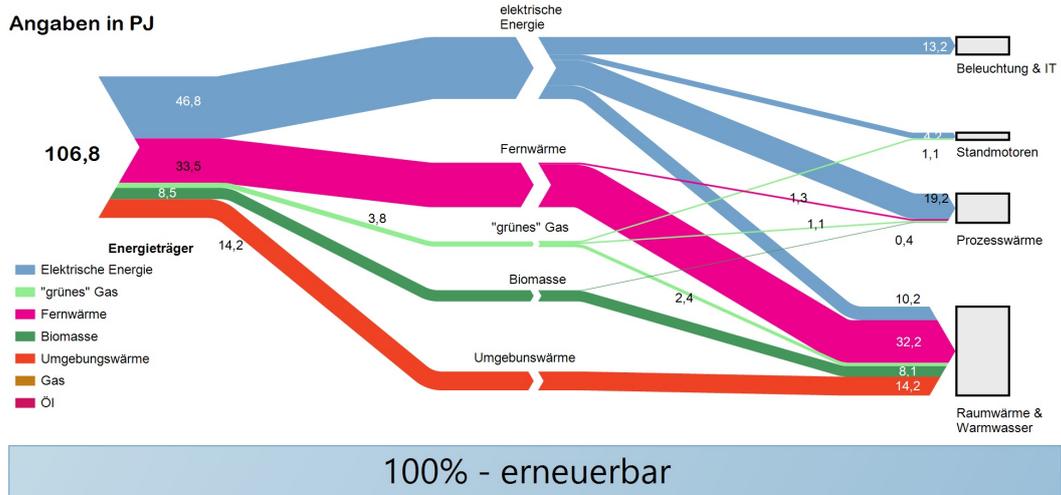


Abbildung A.6: Vergleich des Energieverbrauchs im Dienstleistungssektor im Jahr 2018 und im Basisszenario

Energiefluss in Österreich - Landwirtschaft

Angaben in PJ

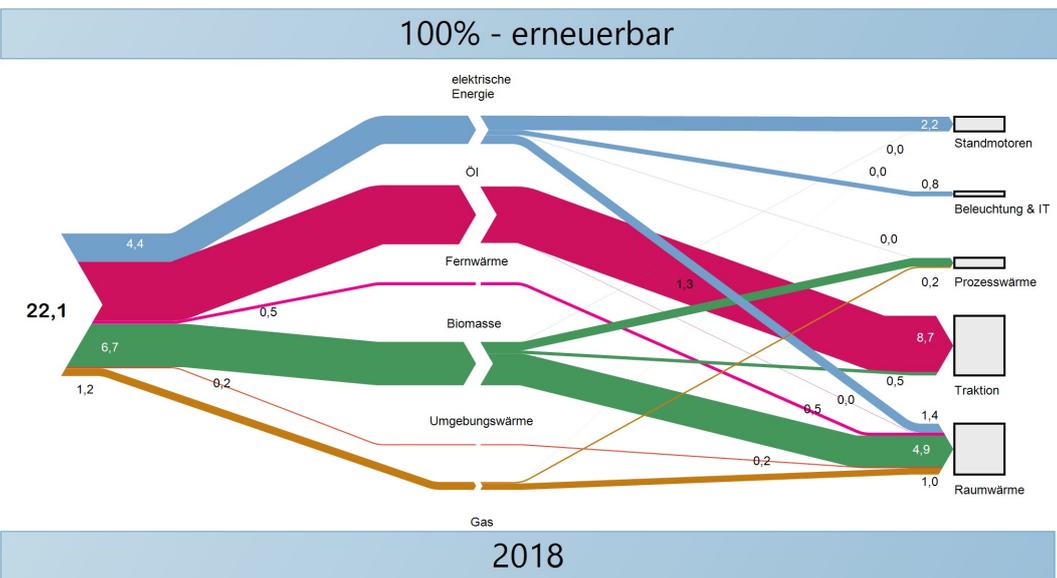
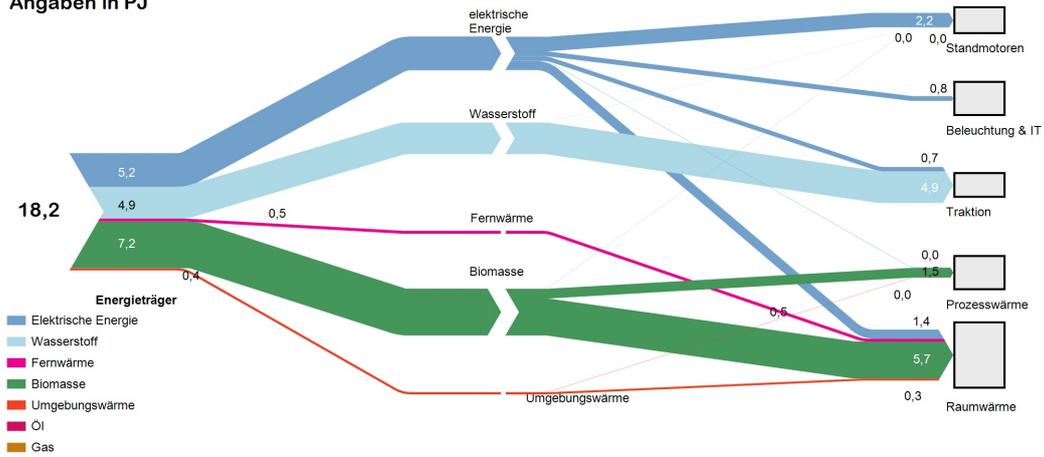


Abbildung A.7: Vergleich des Energieverbrauchs im Landwirtschaftssektor im Jahr 2018 und im Basisszenario

Effizienz - Szenario

Angaben in PJ

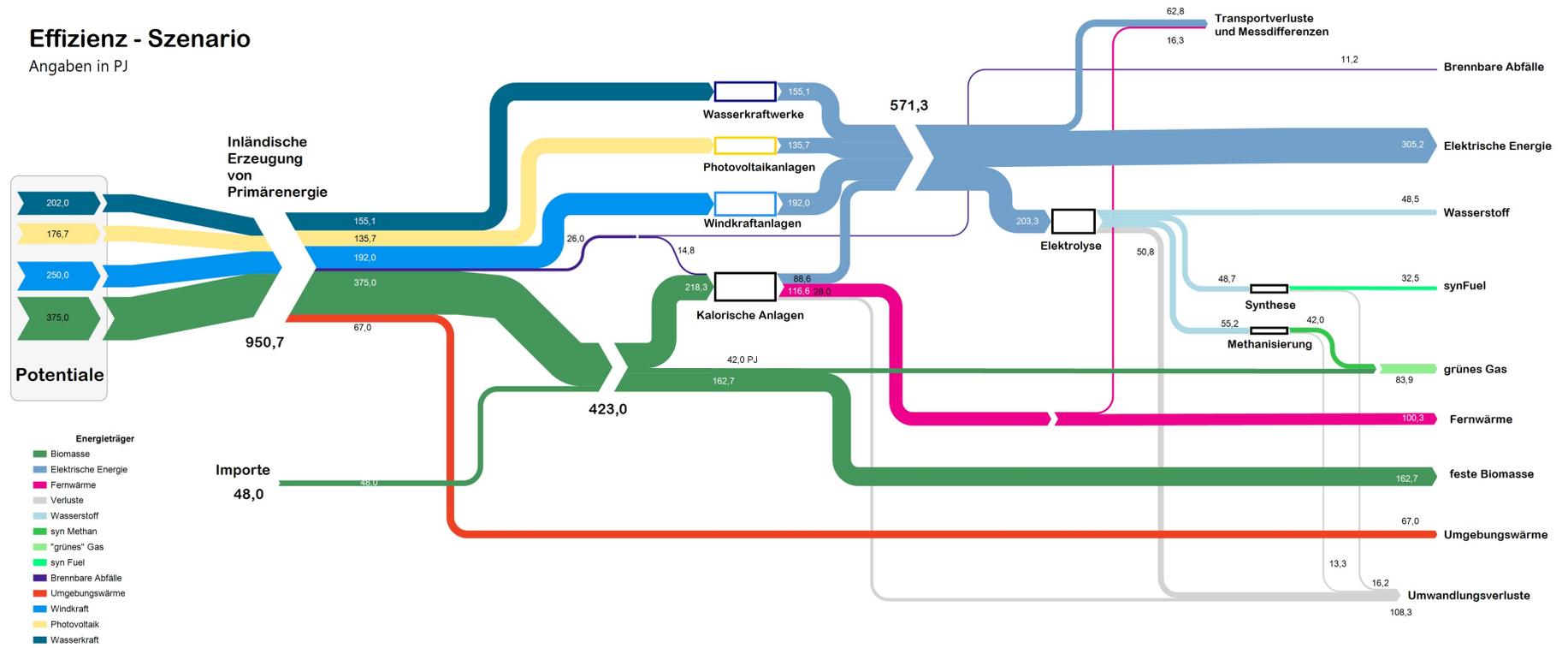


Abbildung A.9: Berechneter Energiefluss des Effizienzszenarios

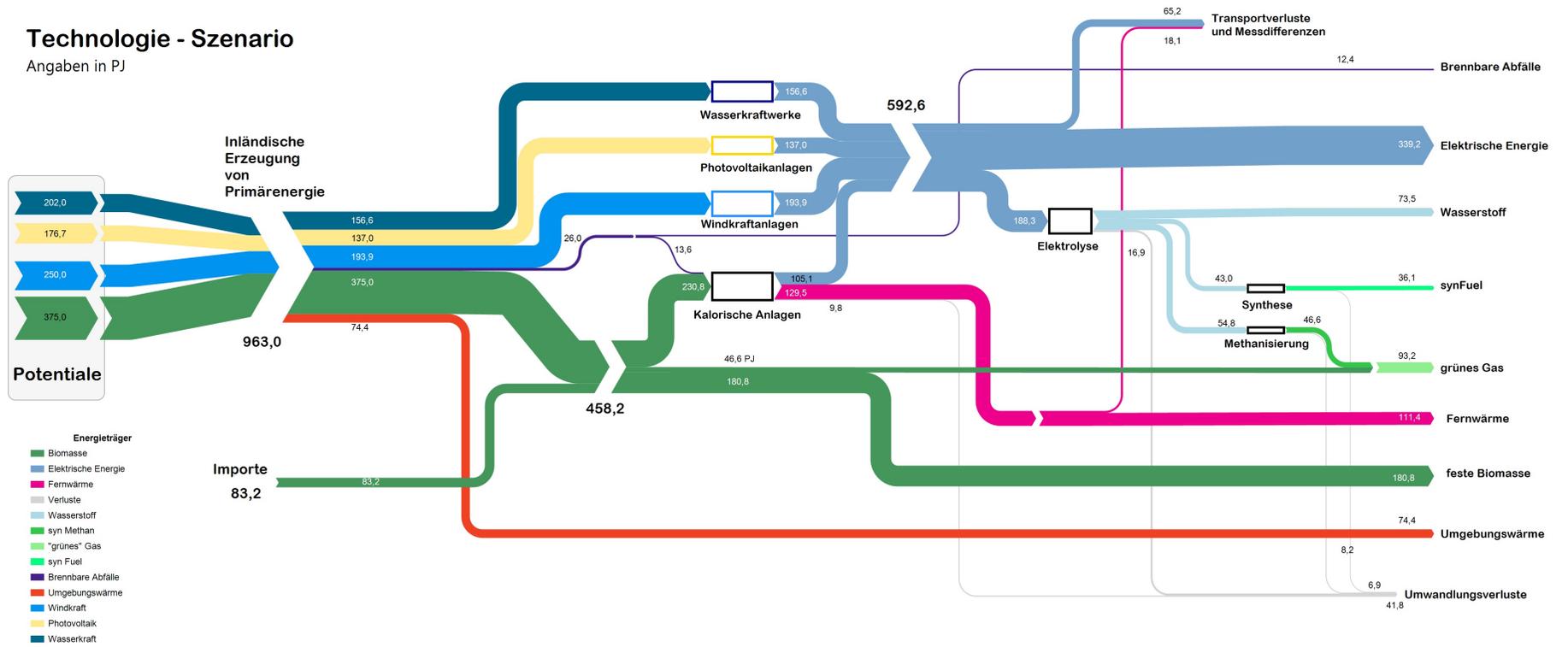


Abbildung A.10: Berechneter Energiefluss des Technologieszenarios