

IndustRIES

Roman Geyer
Sophie Knöttner
Christian Diendorfer
Gerwin Drexler-Schmid
Verena Alton



Kurzbericht zur Datenaktualisierung

IndustRIES

Energieinfrastruktur für 100 % erneuerbare Energie in der Industrie

AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY GMBH

Im Auftrag des Klima- und Energiefonds

Wien, 02.2022



Executive Summary

Hintergrund und interaktive Web-Applikation

In der vom AIT im Auftrag des Klima- und Energiefonds 2019 durchgeführten Studie *IndustRiES – Energieinfrastruktur für 100% Erneuerbare Energie in der Industrie* wurden drei Szenarien für die zukünftige Versorgung der österreichischen Industrie mit erneuerbarer Energie entwickelt. Im Rahmen der Studie wurden die beiden Tools „NEAT“ und „IndustRiES“ entwickelt. Dazu erfolgte nun die Umsetzung einer Web-Applikation der beiden Tools. Durch die interaktive Darstellungsmöglichkeit der Ergebnisse können Abschätzungen getätigt werden, wann und wo welcher Energieträger in welchen Mengen benötigt wird. Die Umsetzung dient in erster Linie dazu, das Thema Dekarbonisierung öffentlichen Stakeholder mithilfe von Digitalisierung zugänglicher zu machen. Zusätzlich erfolgte eine Neubewertung der Szenarien anhand der aktuell verfügbaren statistischen Datengrundlage (Datenbasis 2020, welche Ende 2021 veröffentlicht wurde). Dieser Bericht fasst die wesentlichsten Ergebnisse der Aktualisierung zusammen. Detaillierte Ergebnisse können online unter <https://industries.ait.ac.at> abgerufen werden. Die interaktive Web-Applikation ermöglicht tiefere individuelle Untersuchungen sowohl für historische als auch für Szenario-Daten.

Aktualisierung der Szenarien

Der Ausbau bzw. die Optimierung der Energieinfrastruktur in Österreich ist eine unabdingbare Voraussetzung zur Erreichung der Klima- und Energieziele, aber auch zur Erhaltung der Versorgungssicherheit. Die Forderung nach Dekarbonisierung wirft die Frage auf, wie die österreichische Industrie mit erneuerbaren Energien versorgt werden kann und wie das bestehende Energiesystem umgebaut werden muss. Ein Energieträgerwechsel stellt auch andere Anforderungen an die existierende Energieinfrastruktur.

Mit 85 TWh bzw. 29 % des österreichischen Endenergieverbrauchs ist die Industrie neben dem Verkehr ein wesentlicher Energienachfrager. Insbesondere die energieintensive Industrie, die in Österreich einen Anteil von 65 % am Endenergieverbrauch des produzierenden Bereichs ausmacht, beeinflusst den Verbrauch erheblich. In den letzten Jahren zeigte sich ein Anstieg bei den erneuerbaren Energien und ein Rückgang der fossilen Energieträger Kohle und Öl. Trotzdem war Gas, gefolgt von elektrischer Energie, der wichtigste Energieträger. Aktuell liegt der Anteil der erneuerbaren Energie in der österreichischen Industrie bei 45 % bezogen auf den Endenergieverbrauch.

Anhand von drei Szenarien (*Basis, Effizienz, Umbruch*) werden unterschiedlich ambitionierte Perspektiven aufgezeigt, wie die österreichische Industrie vollständig durch erneuerbare Energie versorgt werden kann und was dafür notwendig ist. Die Szenarien zeigen eine Bandbreite des industriellen Endenergieverbrauchs von 77 TWh (*Effizienz*) bis 105 TWh (*Umbruch*) (vgl. 85 TWh im Jahr 2020). Mit dem betrachteten erneuerbaren Energiepotenzial von 231 TWh in Österreich kann der industrielle Endenergieverbrauch in allen Szenarien gedeckt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass der Energiebedarf der übrigen Sektoren in dieser Analyse nicht berücksichtigt wird. Der Energiebedarf der Sektoren (*Verkehr, private Haushalte, öffentliche und private Dienstleistungen und Landwirtschaft*) macht zusätzlich 207 TWh aus, woraus sich eine Deckungslücke von 55 bis 80 TWh (je nach Szenario) ergibt. Diese Lücke muss durch ambitionierte Effizienzsteigerungen und/oder Importe gedeckt werden.

Insbesondere im *Umbruch* Szenario findet eine zunehmende Verlagerung hin zu elektrischer Energie statt, während im *Basis* und *Effizienz* Szenario auch biogene Brennstoffe eine tragende Rolle spielen. Für elektrische Energie gibt es je nach Szenario eine Unterdeckung, durch zeitlichen Versatz von Bedarf und Potenzialangebot, zwischen 1,7 TWh (*Effizienz*) und 6,2 TWh (*Umbruch*). Darüber hinaus ist die berechnete maximale industrielle Last von 13,6 GW im *Umbruch* Szenario mehr als doppelt so hoch wie im Status quo (berechnete Maximum liegt bei 6,0 GW). Damit ist die Last auch höher als die derzeit auftretende Höchstlast im öffentlichen Stromnetz in Österreich (10,4 GW im Dezember 2020).

Die Szenarien zeigen, dass mit der Dekarbonisierung der österreichischen Industrie eine starke Elektrifizierung einhergeht. Der damit verbundene Wechsel der Energieträger impliziert ändernde und neue Herausforderungen an die bestehende Energieinfrastruktur. Die Erhaltung der Versorgungssicherheit erfordert daher Ausbau und Optimierung der (bestehenden) Infrastruktur. Dazu zählen neben Erzeugungs- und Netzausbau auch Speichersysteme für entsprechende Flexibilitätsbereitstellung.

Disclaimer

Dieser Bericht basiert auf den Erkenntnissen der 2019 publizierten Studie *IndustRiES – Energieinfrastruktur für 100% erneuerbare Energie in der Industrie*. Dabei erfolgte eine Neubewertung der Szenarien anhand der aktuell verfügbaren statistischen Datengrundlage für das Jahr 2020, welche Ende 2021 veröffentlicht wurde.

Hinweis: Die Daten der Nutzenergianalyse der Statistik Austria werden bei der jährlichen Aktualisierung mit Konjunkturdaten harmonisiert und entsprechend korrigiert für die Jahre davor. Ein Vergleich der Datengrundlage der *IndustRiES*-Studie mit der aktuellen Nutzenergianalyse-Statistik für das Jahr 2017 (Basisdaten der *IndustRiES*-Studie) zeigt Abweichungen aufgrund der Datenkorrektur. Daher sind die dargestellten aktualisierten Ergebnisse nur begrenzt mit der *IndustRiES*-Studie vergleichbar.

Executive Summary	01
Hintergrund und interaktive Web-Applikation	01
Aktualisierung der Szenarien	01
1.0 Einleitung	04
1.1 Motivation	05
1.2 Untersuchungsgegenstand	05
2.0 Ergebnisse	06
2.1 Statuserhebung der Endenergieverbräuche nach industriellen Sektoren	06
2.2 Endenergiebedarf und Deckung	11
2.2.1 Basis Szenario	12
2.2.2 Effizienz Szenario	12
2.2.3 Umbruch Szenario	12
2.2.4 Anforderungen an die elektrische Energieinfrastruktur	13
3.0 Diskussion	17
4.0 Zusammenfassung	18
Literaturverzeichnis	20
Abbildungsverzeichnis	22
Tabellenverzeichnis	23
Abkürzungsverzeichnis	23
Anhang	24
Anleitung zur interaktiven Web-Applikation	24
NEAT-Tool	25
IndustRiES-Tool	27
Kurzumriss zur Methodik (für Details siehe <i>IndustRiES</i> Studie)	29
Basisdaten	29
Bedarfs- und Erzeugungsprofile	30
Entwicklung der Szenarien	30

1.0 Einleitung

Die Bereitstellung einer effizienten Energieinfrastruktur ist eine unabdingbare Voraussetzung für das Erreichen der Klima- und Energieziele, aber auch entscheidend für die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit. Das aktuelle Regierungsprogramm (2020–2024) [1] wirft die Frage auf, wie die österreichische Industrie durch erneuerbare Energien versorgt werden kann. Mit 85 TWh oder 29% des österreichischen Endenergieverbrauchs (EEV), der 2020 292 TWh betrug, ist die Industrie neben dem Verkehr und den Haushalten ein großer Energieverbraucher. Insbesondere die energieintensive Industrie, die 65 % des EEV des produzierenden Sektors in Öster-

reich ausmacht, hat einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch [2]. Die in Österreich verursachten Emissionen betrugen im Jahr 2019 80,4 Mt CO_{2eq} (Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxid-Äquivalente) [3]. Ein Drittel der CO_{2eq}-Emissionen wird der Industrie zugeschrieben [3]. Aktuelle Entwicklungen zeigen, dass die Erzeugung aus erneuerbaren Energien zunimmt und die fossilen Energieträger Kohle und Öl abnehmen. Dennoch ist Erdgas mit 31 TWh (36%) immer noch der wichtigste industrielle Energieträger, gefolgt von elektrischer Energie mit 27 TWh (32%) [2].

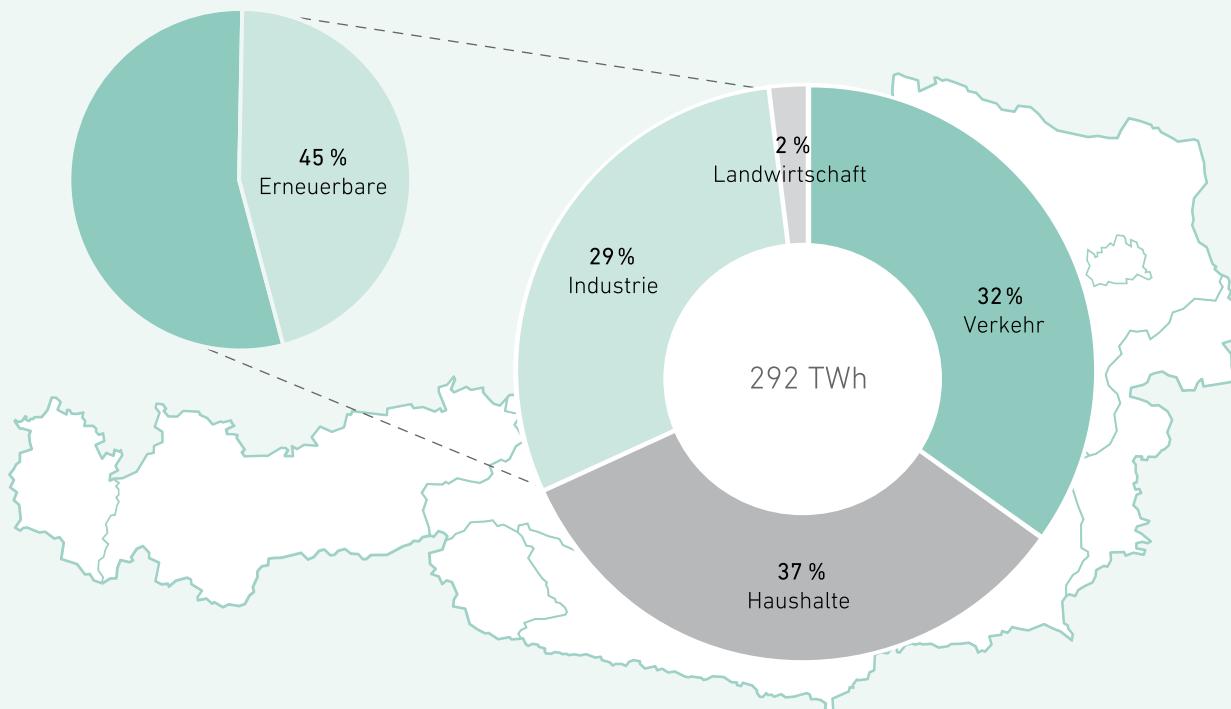


Abbildung 1
Sektoraler Anteil am energetischen Endverbrauch
im Jahr 2017 (Datenbasis: [4])

1.1 Motivation

Der Wechsel der Energieträger in der Industrie – oft mit starkem Fokus auf Elektrifizierung verbunden – stellt auch neue Herausforderungen an die bestehende Energieinfrastruktur, wie z. B. Erzeugungs- und Netzausbau und neue/größere Speicher für eine angemessene Flexibilitätsbereitstellung. Folgende branchenrelevante, teilweise voneinander abhängige Aspekte und Themen sind entscheidende Faktoren für eine erfolgreiche Dekarbonisierung und Transformation zu mehr Nachhaltigkeit. Die Versorgung mit Strom und Wärme soll auf erneuerbaren Energiequellen basieren. Eine verbesserte Energieeffizienz und eine beschleunigte Reduktion der Treibhausgasemissionen sind notwendig. Die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie muss sichergestellt werden, mit den Schwerpunkten Sektorkopplung und Erhalt effizienter Bestandsanlagen. Darüber hinaus soll die Industrie in ihrer Rolle als Ermöglicher der Dekarbonisierung gestärkt werden, z. B. durch verstärkte Abwärmenutzung. Für die Dekarbonisierung sind Sprunginnovationen aber auch (neue) bahnbrechende Technologien erforderlich. Die Schaffung und Bereitstellung einer geeigneten Infrastruktur (Netze, Speicher, etc.) ist ein Schlüsselement um mehr volatile, fluktuirende Energiequellen in die Netze einzubinden, ohne die Qualität der Energieversorgung in Form von z. B. Spannungsschwankungen, Abschaltungen, Blackouts, etc. zu reduzieren bzw. die Versorgungssicherheit zu beeinträchtigen.

1.2 Untersuchungsgegenstand

Im Rahmen der *IndustRiES*-Studie [5] standen die Auswirkungen einer erneuerbaren Energieversorgung der Industrie und die Anforderungen an eine zukünftige Infrastruktur (z. B. Erzeugungs- und Netzkapazität) im Vordergrund. Dazu wurden Abschätzungen der benötigten Energieträger und der jeweiligen Mengen in verschiedenen Szenarien unter Berücksichtigung von Verfügbarkeit, benötigter (Prozess-)Temperatur und Wärmeträger (z. B. Dampf, Direktheizung, etc.) durchgeführt.

Die *IndustRiES*-Studie zeigt dabei Perspektiven auf, wie die österreichische Industrie zur Gänze durch erneuerbare Energien versorgt werden kann und somit die energiebedingten Emissionen des produzierenden Sektors entfallen. Nicht im Fokus stand, wie die prozessbedingten Emissionen des Industriesektors gemindert werden können. Eine Ausnahme wurde für den Eisen- und Stahlsektor getroffen, da der Produktionsprozess im Hochofen eine starke Verflechtung von Einsatzstoffen und Energienutzung aufweist, die zu einem hohen Anteil an Vor-Ort-Energieerzeugung (Verwendung der anfallenden Gase in KWKs zur Stromerzeugung) führt. Details dazu finden sich im [Abschnitt Kurzumriss zur Methodik](#). Weiterhin ist anzumerken, dass der EEV für die übrigen Sektoren *Verkehr*, *private Haushalte*, *öffentliche und private Dienstleistungen* und *Landwirtschaft* in diesen Analysen nicht berücksichtigt wird. Diese Betrachtung sollte in weiterführenden Arbeiten adressiert werden.

In diesem Bericht wird zunächst die *IndustRiES*-Studie einschließlich des Ansatzes und der wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst. Darüber hinaus wurden alle Szenarien aktualisiert und mit den neuesten statistischen Energiedaten aus dem Jahr 2019 neu berechnet und bewertet. Darauf aufbauend wird eine Analyse der speziellen und zeitlichen Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auf das Stromnetz vorgestellt. Im nächsten Abschnitt werden die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert, gefolgt von einem Fazit mit Empfehlungen und einem Ausblick. Im Anhang findet sich eine Beschreibung zu der interaktiven Web-Applikation sowie ein Kurzumriss der Methode und der zugrunde liegenden Datenbasis.

2.0 Ergebnisse

Zu Beginn erfolgt eine Darstellung der Endenergieverbräuche nach industriellen Sektoren zur aktuellen Datenlage. Danach werden die Szenarienergebnisse vorgestellt. Die Szenarien zeigen eine Bandbreite des EEV von 77 TWh (*Effizienz*) bis 105 TWh (*Umbruch*) (siehe Abbildung 5). Vor allem im *Umbruch* Szenario ist eine zunehmende Verschiebung hin zu elektrischer Energie zu erkennen. Im *Basis* und *Effizienz* Szenario spielen auch biogene Brennstoffe eine wichtige Rolle; ihr absoluter Anteil ist etwa doppelt so hoch wie im *Status quo*. Mit zunehmendem Einsatz von Wärme-pumpen gewinnt auch der Energieträger Umgebungs-wärme an Bedeutung.

2.1 Statuserhebung der Endenergieverbräuche nach industriellen Sektoren

Ziel der Statuserhebung ist die Identifikation des aktuellen Energiebedarfs und der eingesetzten Energieträger der verschiedenen industriellen Sektoren. Die Analysen ermöglichen Aussagen zu treffen, welche

Anpassungen notwendig sein werden, um ein Szenario mit 100% erneuerbaren Energieträgern zu ermöglichen. Die Statuserhebung erfolgt auf Basis der Nutzenergie-analyse für 2020 der Statistik Austria [2]. Aufgrund der besseren Darstellbarkeit wurden ähnliche Energie-träger, welche von der Statistik Austria erhoben wurden, gruppiert.

Den höchsten industriellen Endenergiebedarf in Österreich hat die Branche *Papier und Druck* mit 20 TWh. Die Sektoren *Chemie und Petrochemie, Eisen- und Stahl-erzeugung*¹ und *Steine, Erden und Glas* benötigen gut 12 bzw. jeweils etwa 10 TWh. Die in Österreich zur energieintensiven Industrie zählenden Sektoren haben mit 57 TWh Endenergiebedarf einen Anteil von 66% am gesamten produzierenden Bereich. Die Einteilung der Sektoren, die zur energieintensiven bzw. nicht-energieintensiven Industrie² in Österreich zählen, ist in Tabelle 1, sortiert nach Energieverbräuchen, aufgelistet.

¹ Anmerkung: Bei der Darstellung nach Endenergiebedarf ist der benötigte Energieeinsatz in den Hochöfen und Kokereien nicht berücksichtigt. Dieser beträgt 22,7 TWh und wird dem Sektor Energie zugerechnet.

Daher fließt dieser Energieeinsatz nicht in die Endenergiebilanz ein (vgl. [2]). Unter Berücksichtigung dieses zusätzlichen Energieeinsatzes ist der Eisen- und Stahlherzeugung die höchste Gesamtenergiennachfrage aller industrieller Sektoren zuzurechnen.

² Eine international einheitliche Definition bzw. Zuordnung existiert nicht.

Energieintensive Industrie		Nicht-energieintensive Industrie	
Sektor	EEV [GWh]	Sektor	EEV [GWh]
Papier und Druck	19.834	Holzverarbeitung	6.572
Chemie und Petrochemie	12.450	Nahrungs- und Genussmittel, Tabak	6.228
Eisen- und Stahlerzeugung	10.934	Maschinenbau	5.633
Steine und Erden, Glas	10.326	Bergbau	3.482
Nichteisenmetalle	2.299	Bau	3.409
		Sonst. Produzierender Bereich	2.001
		Fahrzeugbau	1.491
		Textil und Leder	647
Summe	55.843	Summe	29.463

Tabelle 1

Einteilung der Sektoren, die zur energieintensiven

bzw. -extensiven Industrie in Österreich zählen

(Einteilung nach [6], Daten aus [2])

Die folgenden Abbildungen zeigen den Einsatz der verschiedenen Energieträger pro Branche sowie nach Nutzenergielagorie. Nicht erneuerbare Energieträger sind in roten Farbtönen dargestellt. Jene Energieträger, die bereits vollständig erneuerbar sind, beziehungsweise durch Adaptionen der Energieversorgung erneuerbar gemacht werden können (elektrische Energie und Fernwärme) sind in grünen Farbtönen dargestellt.

Die aktuellen Anteile an Erneuerbaren betragen im Österreich-Mix für Strom 78,2% und für Fernwärme 51,9% [4]. Unter Berücksichtigung dieser Zusammensetzungen ergibt sich ein Anteil der erneuerbaren Energien für die gesamte Industrie von 46% bezogen auf den Endenergieverbrauch. Der niedrigste Anteil an erneuerbaren Energien liegt mit 18% in der Branche *Bau* knapp gefolgt von der *Eisen- und Stahlerzeugung*

mit 20%. *Papier und Druck*, die Branche mit dem höchsten Endenergiebedarf, setzt zu 61% erneuerbare Energieträger ein. Die *Holzverarbeitung* verwendet mit 79% die meisten erneuerbaren Energieträger.

Die Nutzung der eingesetzten Energieträger liefert Aufschlüsse über erforderliche Anpassungen der Industriebetriebe, wenn der Einsatz erneuerbarer Energieträger erhöht werden soll. Um Aussagen über notwendige Anpassungen für eine Transformation zu 100% erneuerbaren Energieträgern treffen zu können, müssen die eingesetzten Energieträger im Detail betrachtet werden. Dazu wurden die einzelnen Industrie-sektoren hinsichtlich Energieträgereinsatz und möglichen Technologieoptionen für die Prozessanforderungen näher analysiert (siehe Analysen zu den einzelnen Sektoren in der *IndustRIES-Studie* [5]).

Endenergieverbrauch nach Energieträgern und industriellen Sektoren [TWh]

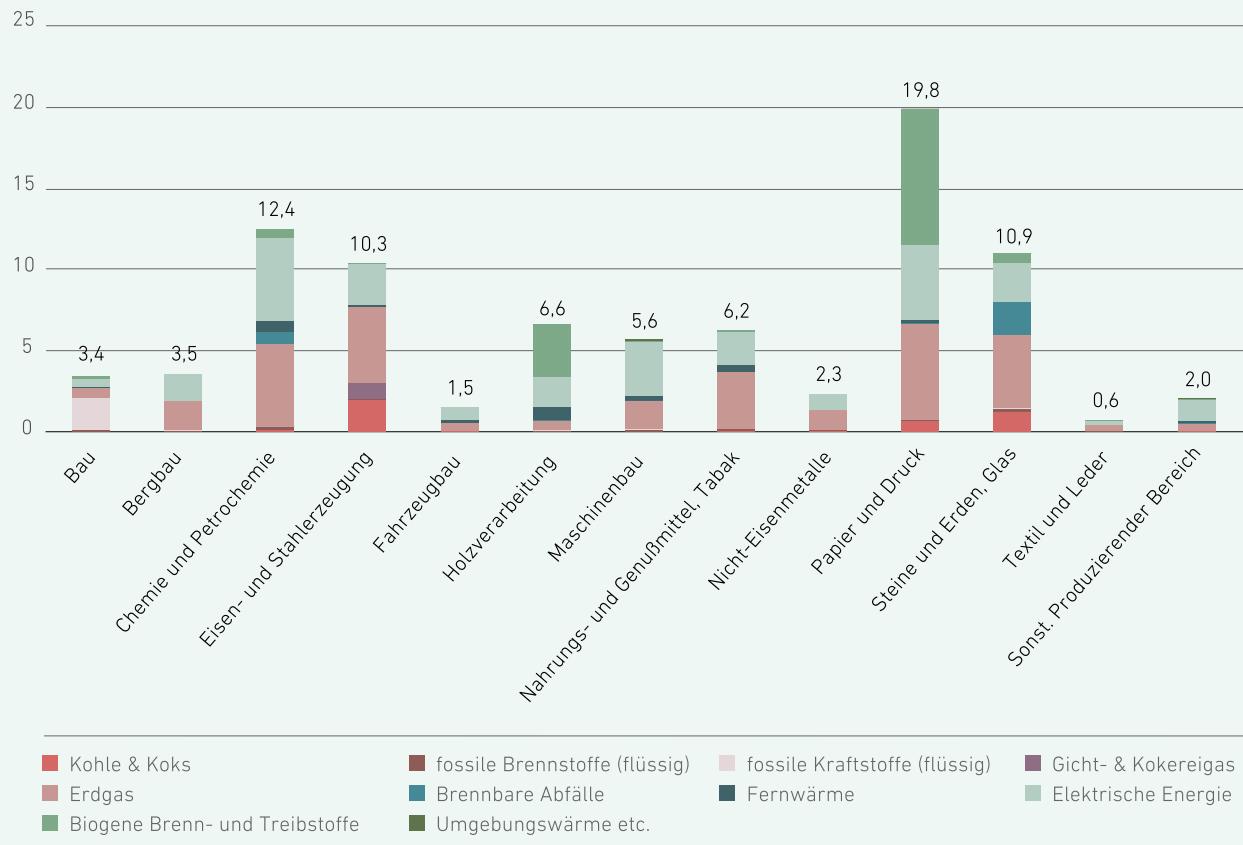


Abbildung 2
Endenergieverbrauch nach
Energieträgern und industriellen
Sektoren, Gesamtösterreich 2020
(Datenbasis: [2])

Endenergieverbrauch nach Energieträgern und industriellen Sektoren [%]

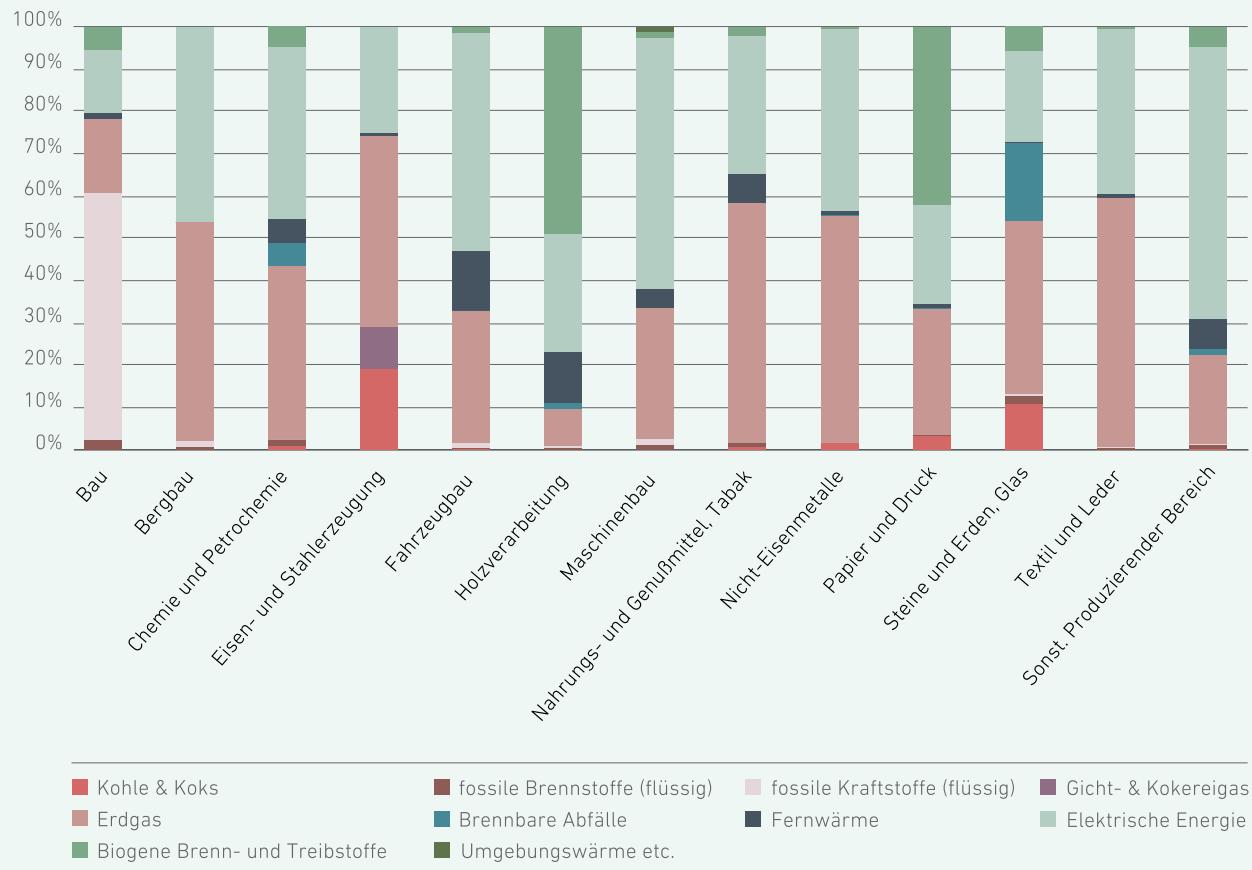


Abbildung 3

Relativer Einsatz von Energieträgern
nach industriellen Sektoren, Gesamtösterreich 2020
(Datenbasis: [2])

Endenergieverbrauch nach Nutzkategorien und Energieträgern [TWh]

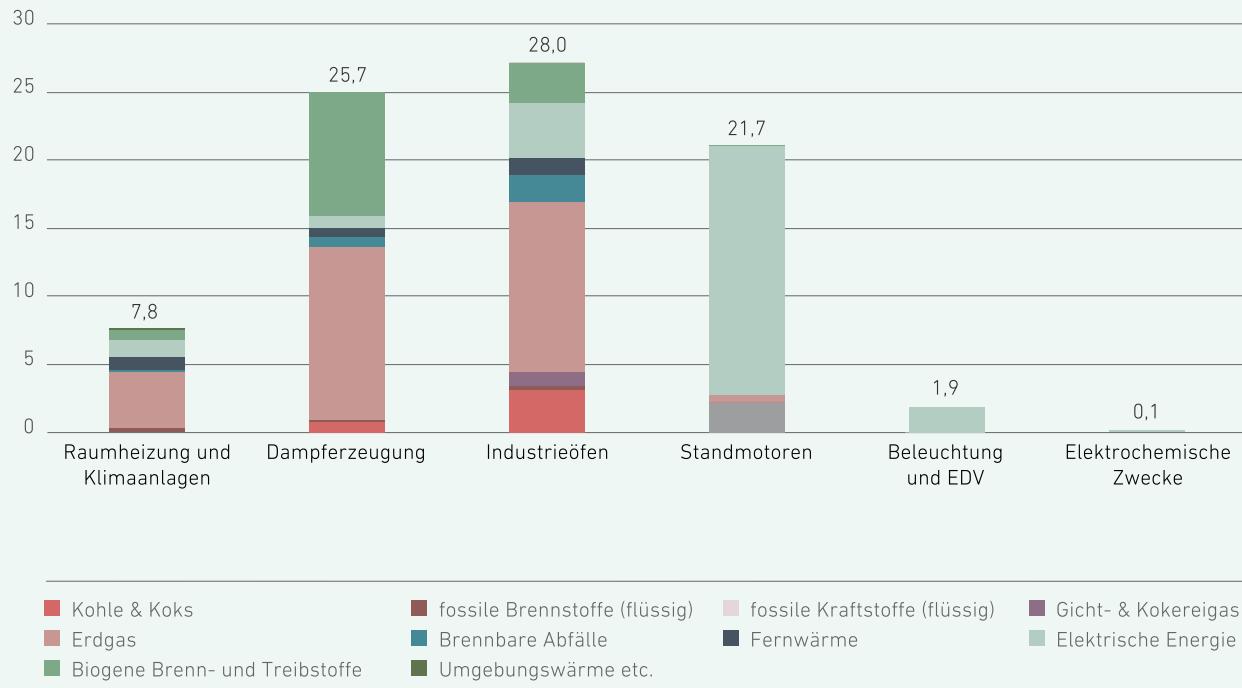


Abbildung 4

Endenergieverbrauch nach Nutzkategorien und Energieträgern, Gesamtösterreich 2020
(Datenbasis: [2])

2.2 Endenergiebedarf und Deckung

Zur Deckung des Energiebedarfs steht ein Gesamt-potenzial von 231 TWh an erneuerbaren Energien (siehe Abschnitt Kurzumriss zur Methodik) zur Verfügung. Hiervon entfallen 119 TWh auf elektrische und 112 TWh auf thermische Energie. Die Ergebnisse zeigen, dass der industrielle EEV in allen Szenarien mit den in Österreich verfügbaren erneuerbaren Energiepotenzialen gedeckt werden kann. Je nach Szenario liegen die Energieüberschüsse zwischen 127 und 158 TWh bzw. sind sie 2,2 bis 3,1 mal höher als der Bedarf. Die elektrischen Überschüsse betragen zwischen 55 und 92 TWh (1,9 bis 4,2 mal höher als der Bedarf) und die thermischen Überschüsse zwischen 67 und 72 TWh (2,5 bis 2,8 mal höher als der Bedarf). Die elektrischen Überschüsse sind im *Umbruch* Szenario am geringsten, da die größte Nachfrage nach elektrischer Energie besteht. Die thermischen Überschüsse sind jedoch in diesem Szenario am höchsten, da diese im Vergleich zu den anderen Szenarien den geringsten Bedarf haben.

Wie eingangs erwähnt, wird der EEV für die übrigen Sektoren (*Verkehr, private Haushalte, öffentliche und private Dienstleistungen* und *Landwirtschaft*) in den durchgeführten Analysen nicht berücksichtigt. Der gesamte EEV in Österreich betrug 292 TWh im Jahr 2020 [4]. Das bedeutet, dass das in Österreich vorhandene Potenzial an erneuerbaren Energien nicht ausreicht, um den tatsächlichen Bedarf dieser Sektoren zu decken, der in Summe weitere 207 TWh beträgt. Daraus ergibt sich, je nach Szenario, eine Deckungslücke von 55 bis 80 TWh. Aus heutiger Sicht muss diese Lücke durch erhebliche Effizienzsteigerungen oder/und Energieimporte (d. h. Energie von ausländischen Märkten) gedeckt werden.

Endenergieverbrauch nach Energieträgern und erneuerbaren Potenzialen

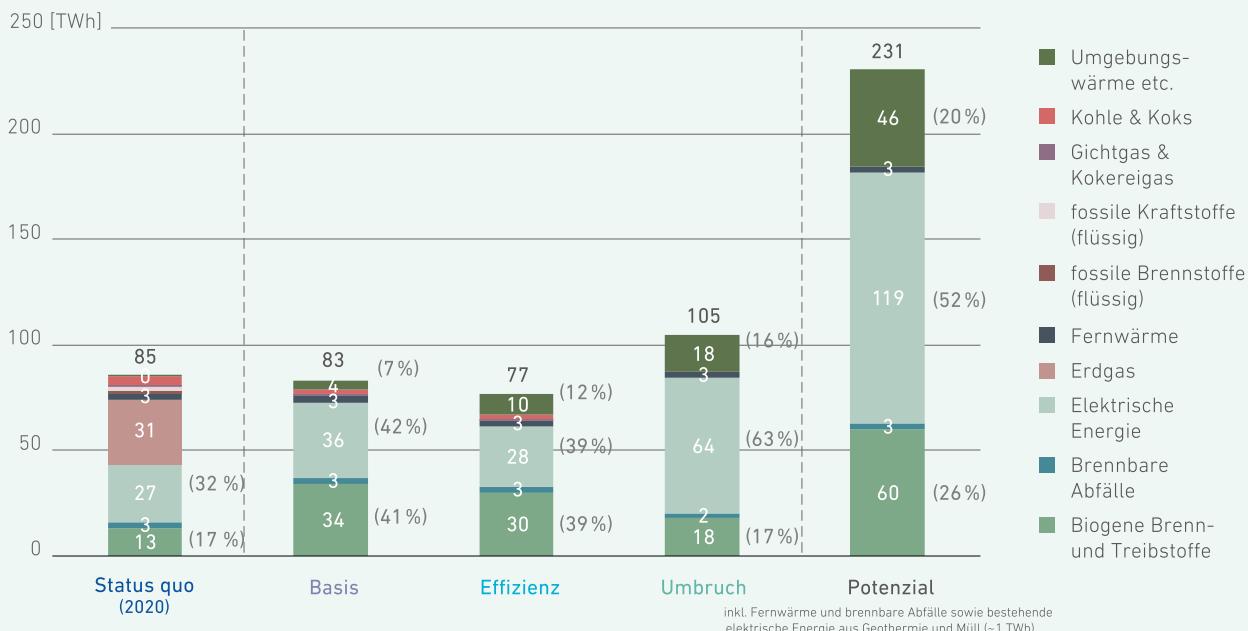


Abbildung 5

Endenergieverbrauch in TWh nach Energieträgern und erneuerbaren Potenzialen in Österreich

2.2.1 Basis Szenario

Im *Basis* Szenario werden alle fossilen Energieträger für die Industrie durch erneuerbare Energien ersetzt. Eine Ausnahme bildet der Eisen- und Stahlsektor für die Bundesländer Oberösterreich und Steiermark, da diese noch Kohle & Koks sowie Kokereigas im Hochofenprozess zur Stahlerzeugung benötigen. Der Anteil der erneuerbaren Energien beträgt in diesem Szenario daher nur 96,5 %, da die zuvor genannten energetischen Materialien, anteilig mit 2,9 TWh als EEV nicht decarbonisiert werden. Effizienzmaßnahmen, wie z. B. elektrische statt fossil betriebener Standmotoren, bewirken einen Rückgang des EEV um 3 TWh gegenüber dem *Status quo*. Biogene Kraftstoffe weisen das stärkste Wachstum auf, da sie vor allem als Ersatz für Erdgas und fossile Flüssigkraftstoffe eingesetzt werden. Die teilweise Elektrifizierung von Prozessen und die Umstellung fossiler Standmotoren auf elektrische Energie sowie der Einsatz von WP für Nieder-temperaturanwendungen, vor allem für Raumheizung und Klimatisierung, erhöhen ebenfalls die Nachfrage nach Strom. Der Energieträger Umgebungswärme wird mit 4 TWh am stärksten durch WP-Anwendungen geprägt.

2.2.2 Effizienz Szenario

Das *Effizienz* Szenario hat mit 77 TWh den geringsten industriellen EEV. Dies ist vor allem auf verstärkte Effizienzmaßnahmen in den einzelnen Prozessen und Wärmerückgewinnungsmaßnahmen sowie auf thermische Sanierungen (Wärmedämmung etc.) zurückzuführen. Infolgedessen sinkt der Energiebedarf für alle Energieträger außer Umgebungswärme im Vergleich zum *Basis* Szenario. Der Einsatz von Hochtemperatur-Wärmepumpen (HTWP) in den Nutzenergiekategorien Dampferzeugung und Industrieöfen, insbesondere für Trocknungsanwendungen mit einem Betriebsbereich von bis zu 160 °C, erhöht den Bedarf an Wärmequellen zum Betrieb der WP. Dies ist der Grund für den Anstieg der Umgebungswärme in diesem Szenario (von 4 TWh im *Basis* Szenario auf 10 TWh). Biogene Brennstoffe und elektrische Energie machen jeweils ca. 30 TWh und decken

in Summe 76 % des EEV. Der Eisen- und Stahlsektor benötigt nach wie vor fossile Brennstoffe zur Reduktion in der Stahlerzeugung (diese sind nur zu geringem Anteil in EEV Bilanz enthalten), allerdings sind diese Mengen aufgrund der gesteigerten Prozesseffizienz etwas geringer. Da dieser Sektor bereits sehr energieeffizient ist, sind die Auswirkungen der Maßnahmen geringer als in anderen Sektoren und Nutzenergiekategorien. Dies führt zu einer geringfügigen Reduzierung des Anteils der erneuerbaren Energien auf 96,3 % im Vergleich zum *Basis* Szenario.

2.2.3 Umbruch Szenario

Unter Berücksichtigung von Exergie wird in diesem Szenario der Einsatz von HTWP erhöht, was auch zu einem höheren Bedarf an Umgebungswärme von 18 TWh führt. HTWP verdrängen biogene Brennstoffe für Prozesswärmeanwendungen bis 160 °C und reduzieren deren Gesamtbedarf auf 18 TWh. Das bedeutet, dass diese hochkalorischen Energieträger für Verbrennungsprozesse mit Temperaturanforderungen von mehreren hundert Grad Celsius zur Verfügung stehen. Prozesse, die nicht durch HTWP abgedeckt werden können, werden zunehmend elektrifiziert, wenn keine Feuerungen (Ofenatmosphären, Strahlungswärme) benötigt werden. Sind diese erforderlich, werden biogene Brennstoffe eingesetzt. Im *Umbruch* Szenario wird eine vollständige Versorgung durch erneuerbare Energien angenommen, indem der Hochofenprozess durch die Direktreduktion mit Wasserstoff ersetzt wird. Durch die Prozessumstellung in der Eisen- und Stahlindustrie steigt der Strombedarf auf insgesamt 64 TWh. Der EEV ist in diesem Szenario mit 105 TWh am höchsten. Dieser Anstieg resultiert daraus, dass der Energieinhalt des Kokseinsatzes, der bisher nicht in der Endenergiestatistik auftaucht, durch Strom (u. a. Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse) ersetzt wird, der als EEV angerechnet wird. Für diesen Sektor bedeutet dies eine radikale Veränderung, da der hohe Selbstversorgungsgrad mit Prozessnebenprodukten wie Kokereigas aufgegeben wird und sämtliche Energieträger extern beschafft werden müssen.

2.2.4 Anforderungen an die elektrische Energieinfrastruktur

Das Potenzial an elektrischer Energie zur Deckung des Energiebedarfs beträgt 118,9 TWh. Dies ist in Abbildung 6 auf der linken Seite dargestellt. Daneben sind der *Status quo* und die drei definierten Szenarien abgebildet. Dargestellt ist der jeweilige Energiebedarf und das daraus resultierende Restpotenzial. Zusätzlich ist rechts neben jedem Szenario die Überdeckung bzw. die Unterdeckung dargestellt. Die Überdeckung entspricht der zusammengefassten elektrischen Leistung aller Zeitschritte t (Zeitschrittdauer gleich eine Stunde, also zusammengefasste elektrische Leistung ist gleich elektrische Energie), wenn über einen Zeitraum von einem Jahr ($= 8760$ Stunden) mehr elektrische Energie

von den Erzeugern bereitgestellt als von den Verbrauchern benötigt wird. Umgekehrt resultiert die Unterdeckung. Das sich daraus ergebende Restpotenzial würde z. B. für andere Sektoren zur Verfügung stehen. In allen Szenarien kann der Bedarf in der Jahresbilanz gedeckt werden und es verbleibt ein Restpotenzial zwischen 54,9 und 90,7 TWh, das anderweitig genutzt werden kann. Die stündliche Auswertung zeigt, dass eine direkte Deckung nicht immer möglich ist. Es besteht eine Unterdeckung zwischen 1,7 (*Effizienz*) und 6,2 TWh (*Umbruch*). Das bedeutet, dass dieser Bedarf nicht direkt durch die vorhandenen Erneuerbaren Potenziale gedeckt werden kann. Hier wären Speicher oder Importe notwendig.

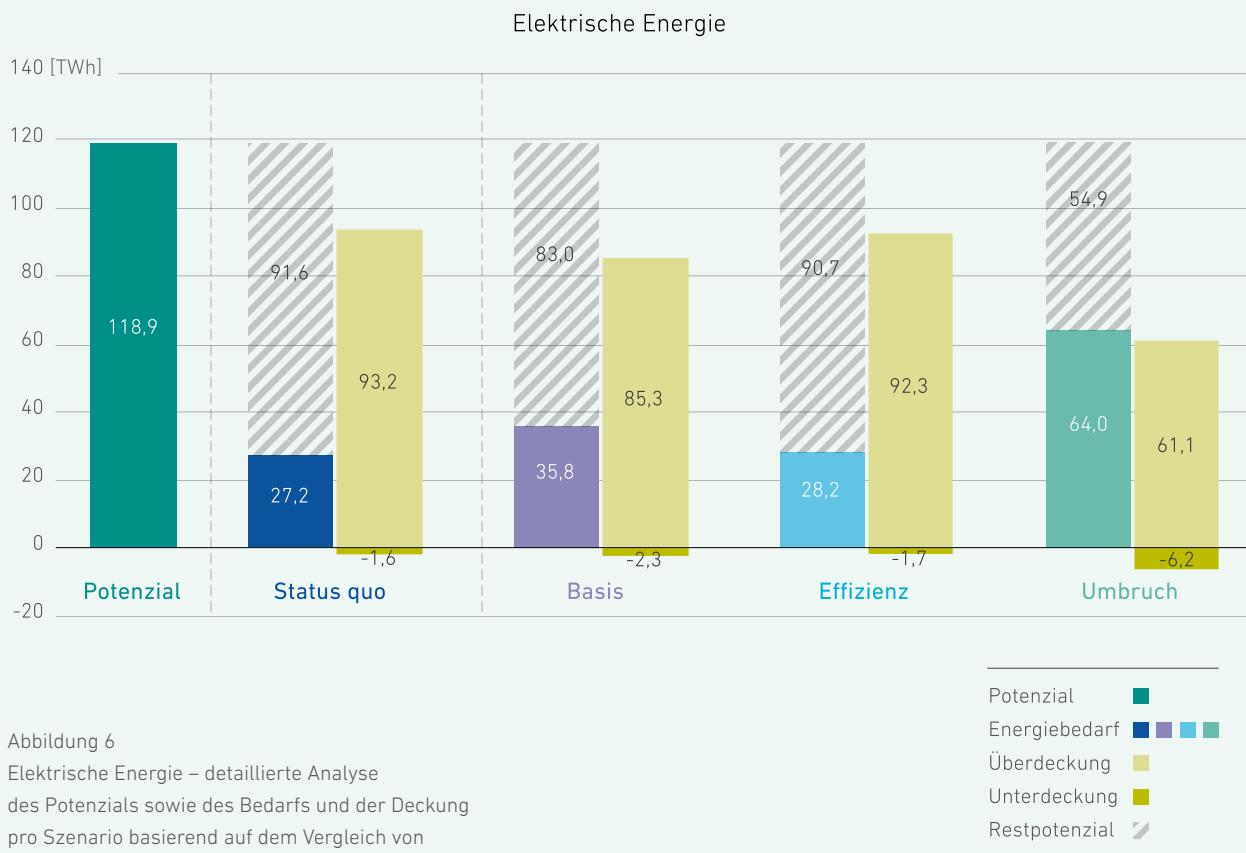


Abbildung 6
Elektrische Energie – detaillierte Analyse
des Potenzials sowie des Bedarfs und der Deckung
pro Szenario basierend auf dem Vergleich von
Last- und Erzeugungsprofil in stündlicher Auflösung

Ein Vergleich des industriellen Lastprofils mit dem elektrischen Energiebedarf ergibt eine simulierte industrielle Minimallast von 1,1 GW und eine Maximallast von 5,8 GW im *Status quo*. Das *Effizienz* Szenario zeigt ähnliche Größenordnungen, da der Gesamtbedarf ähnlich ist. Im *Basis* Szenario steigt die maximale Last auf 7,6 GW an. Im *Umbruch* Szenario ist jedoch sowohl die minimale als auch die maximale Last mehr als doppelt so hoch wie im *Status quo*. Hier beträgt die simulierte Maximallast 13,6 GW (siehe Abbildung 7). Im Vergleich dazu lag die Maximallast im österreichischen öffentlichen Netz im Jahr 2019 bei 10,4 GW im Dezember und die Minimallast bei 4,0 GW im April, jeweils für alle Sektoren [7]. Damit liegt die simulierte Höchstlast für die Industrie im *Umbruch* Szenario um 32% höher als die aktuelle Höchstlast im öffentlichen Netz (siehe Abbildung 8). Die Realisierung des *Umbruch* Szenarios erfordert aufgrund der geänderten Anforderungen an die Energieträger eine Erweiterung und Optimierung der bestehenden Energieinfrastruktur. Insbesondere für die Standorte der Eisen- und Stahlproduktion ist ein Ausbau der Strominfrastruktur notwendig. Daher ist der Aufbau integrierter Energieinfrastrukturen in Koordination mit den europäischen Netzentwicklungsplänen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit unerlässlich.

Die größten Veränderungen ergeben sich in den Bundesländern Oberösterreich und Steiermark, da davon ausgängen wird, dass der Hochofenprozess im Eisen- und Stahlsektor auf Direktreduktion mit Wasserstoff umgestellt wird. Diese Änderung macht sich besonders in Oberösterreich bemerkbar, vor allem im Raum Linz, wo hohe Stahlproduktionskapazitäten vorhanden sind. Der elektrische Energiebedarf steigt deutlich von 7,8 TWh (*Status quo*) auf 34,2 TWh (*Umbruch*). Die maximale Last ist ebenfalls viermal höher und steigt von 1,7 auf 7,3 GW. Die Höchstlast an elektrischer Energie in Oberösterreich beträgt damit etwas mehr als die Hälfte der berechneten gesamten industriellen Höchstlast im *Umbruch* Szenario. Die Veränderungen der Höchstlasten in der Steiermark (Raum Leoben/Mürztal) fallen weniger extrem aus. Der elektrische Energiebedarf steigt von 5,8 TWh (*Status quo*) auf 14,2 TWh (*Umbruch*) an. Die Höchstlast steigt um den Faktor 2,5 bzw. von 1,2 auf 3,0 GW.

Da es keine entsprechenden Verbraucherstatistiken gibt (z. B. wann welche Industrie welche Leistung abruft), können keine fundierten Aussagen darüber getroffen werden, ob sich einzelne (regionale) industrielle Lasten addieren und damit zusätzliche Belastungen des öffentlichen Stromnetzes verursachen. Für weiter belastbare Analysen werden hochauflösende Daten der Verbrauchersseite benötigt.

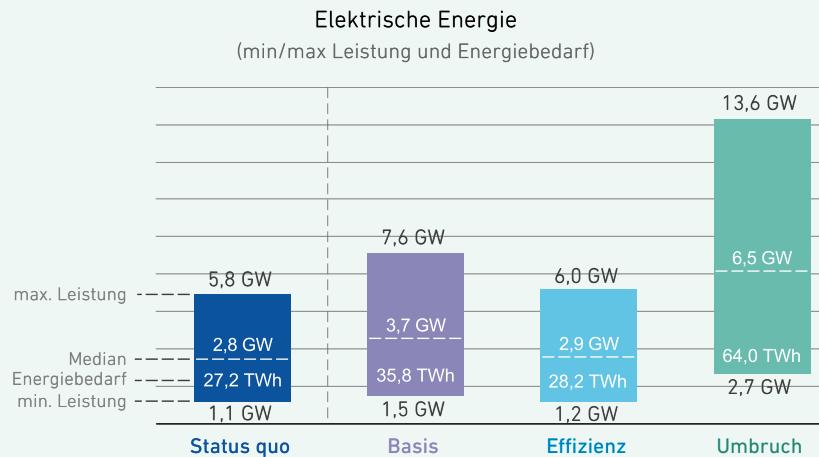


Abbildung 7
Elektrische Energie – Leistungsdaten
(Min/Max/Median) und Endenergiebedarf
pro Szenario basierend auf dem Vergleich
von Last- und Erzeugungsprofil in
stündlicher Auflösung. In den jeweiligen
Balken sind die Energiebedarfe angegeben.
Die maximal auftretende Leistung in jedem
Szenario kann oberhalb des Balkens
abgelesen werden, die minimale Leistung
unterhalb.

Lastprofile (Monatsmittelwerte):
Öffentliches Stromnetz im Vergleich zu den Ergebnissen

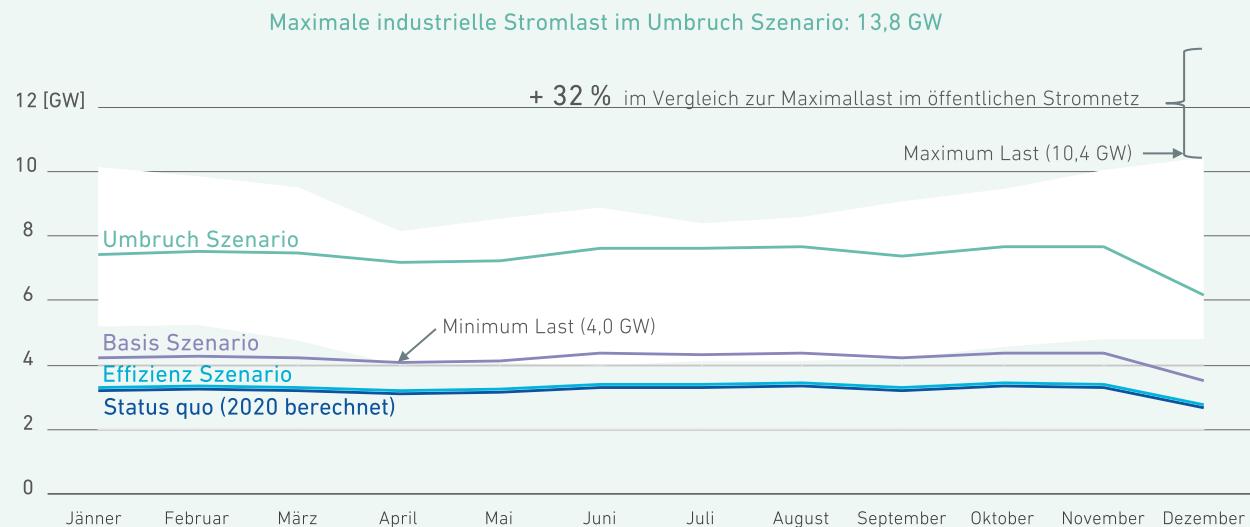


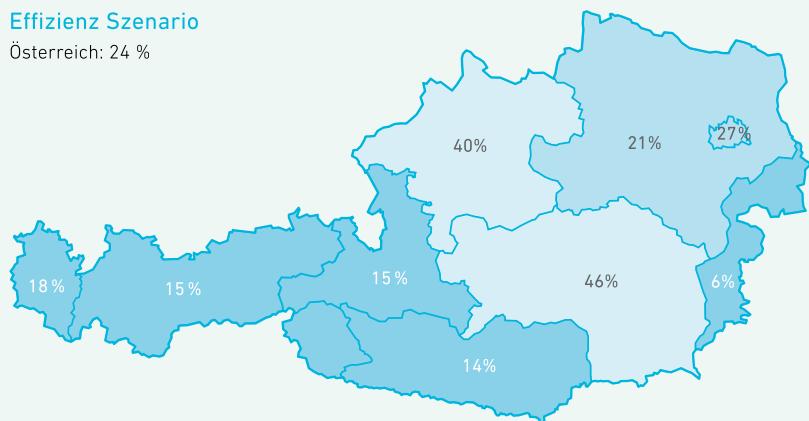
Abbildung 8
Vergleich des Lastgangs im öffentlichen
Stromnetz (2020, in dunkelblau) [7] und
der Szenarioergebnisse

Abbildung 9 zeigt auf Bundeslandebene, wie viel Potenzial benötigt wird, um den jährlichen industriellen elektrischen Endenergiebedarf zu decken. Die Zahlen beziehen sich in Prozent auf das pro Bundesland verfügbare Potenzial an erneuerbarer elektrischer Energie. Im *Umbruch* Szenario werden 54% des elektrischen Energiepotenzials benötigt, um den industriellen Bedarf in ganz Österreich zu decken. Auf der Ebene der Bundesländer ergibt sich ein differenzierteres Bild. In sieben Bundesländern wird weniger elektrische Energie von der Industrie benötigt als zur Verfügung steht. Ein Defizit gibt es dagegen in der Steiermark und in

Oberösterreich. In letzterem wird 68% mehr elektrische Energie benötigt als auf Bundesländerebene verfügbar ist, während in der Steiermark verfügbares Potenzial und benötigter Strom nur geringfügig voneinander abweichen. Im *Effizienz* Szenario, das von allen Szenarien den niedrigsten EEV aufweist, werden nur 24% des gesamten elektrischen Energiepotenzials benötigt. Das bedeutet, dass für die übrigen Sektoren (*Verkehr*, *private Haushalte*, *öffentliche und private Dienstleistungen* und *Landwirtschaft*) deutlich mehr des verbleibenden Strompotenzials genutzt werden könnte.

Effizienz Szenario

Österreich: 24 %



Umbruch Szenario

Österreich: 54 %

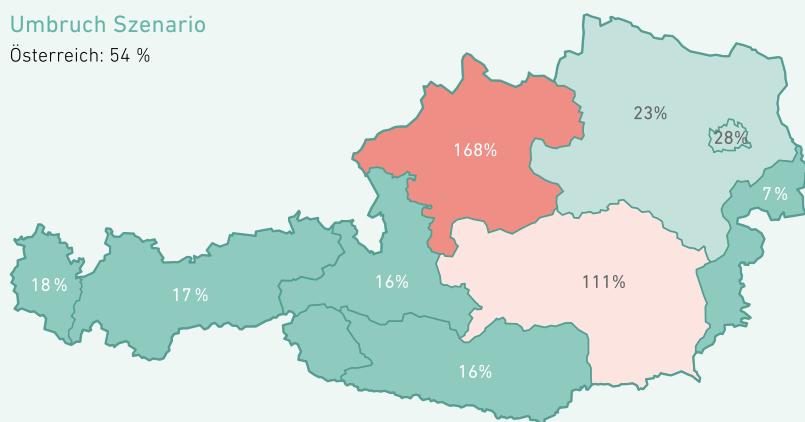


Abbildung 9
Deckungsgrad der elektrischen Energie und erforderliches Potenzial an erneuerbarer Energie im Effizienz (oben) und Umbruch (unten) Szenario.

3.0 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Ausschöpfung aller verfügbaren erneuerbaren Energiepotenziale und einer vollständig dekarbonisierten Energieversorgung des Industriesektors eine Deckungslücke von bis zu 80 TWh im Endenergiebedarf entsteht. Diese muss durch Importe gedeckt werden. Daher ist es unabdingbar, die Potenziale für erneuerbare Energien in großem Ausmaß und im Einklang mit integrierten europäischen Energieinfrastrukturen zügig zu erschließen.

Die Szenarioergebnisse zeigen, dass die stärksten Veränderungen der Stromnachfrage in den Bundesländern Oberösterreich (Raum Linz) und Steiermark (Raum Leoben/Mürztal) auftreten werden. Andererseits befinden sich viele erneuerbare Energiepotenziale (insbesondere Windkraft in Ostösterreich und Wasserkraft im Alpenraum) nicht unbedingt dort, wo die energieintensive Industrie angesiedelt ist. In Anbetracht der gesamten Energieinfrastruktur ist es unabdingbar, Erzeugung und Verbrauch (insbesondere die „Hotspots“) geografisch und zeitlich so weit wie möglich aufzulösen. Dazu muss aber auch die (statistische) Datenbasis in hoher Auflösung zur Verfügung stehen.

In einem zukünftigen Energiesystem müssen Industrieunternehmen stärker als Prosumer eingebunden werden und sollten flexibel auf Veränderungen reagieren können und so zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit beitragen. Dazu müssen neue Kopplungspunkte zwischen den Energiesektoren identifiziert werden, um den Flexibilitäts- und Speicherbedarf, der zum Ausgleich der fluktuiierenden Erzeugung notwendig ist, (kosten- und energie-)effizienter einsetzen zu können.

Der Fokus der *IndustRiES*-Studie lag auf einer dekarbonisierten Energieversorgung der österreichischen Industrie. Prozessbedingte CO₂-Emissionen wurden nur im *Umbruch* Szenario für den Eisen- und Stahlsektor adressiert. Eine solche tiefe Dekarbonisierung ist ein zentrales Thema in der vom österreichischen Klima- und Energiefonds geförderten Vorzeigeregion Energie „NEFI – New Energy for Industry“ (www.nefi.at). NEFI setzt sich zum Ziel, die CO₂-Emissionen der Industrie deutlich zu reduzieren, bis zu 100% erneuerbare Energien einzusetzen und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Die hier vorgestellten Arbeiten bilden eine solide Grundlage für das NEFI_Lab (www.nefi.at/nefi_lab), in dem Entwicklungspfade für unterschiedliche Dekarbonisierungsgrade aufgezeigt werden. Die Pfade berücksichtigen dabei, welcher Sektor welche Art von Technologie in welchem Zeitrahmen implementieren muss, um ein bestimmtes Dekarbonisierungsziel zu erreichen. Erste Ergebnisse werden voraussichtlich Mitte 2022 veröffentlicht.

In dieser Arbeit wurde untersucht, wie die österreichische Industrie durch erneuerbare Energien versorgt werden kann. Wie gezeigt wurde, hat die Industrie einen Anteil von 29 % am österreichischen Endenergieverbrauch. Für eine ganzheitliche Bewertung der notwendigen Maßnahmen zum Ausbau der Energieinfrastruktur ist es entscheidend, die Entwicklungspfade der anderen Sektoren (Verkehr, Haushalte, etc.) im Zusammenhang mit der Dekarbonisierung des Energiesystems zu modellieren. Weitreichende Anstrengungen sind insbesondere für den Verkehrssektor nötig, der fast ausschließlich durch fossile Energieträger abgedeckt wird.

Um diesen Bedarf zu decken, wird der Bedarf an elektrischen und biogenen Energieträgern weiter steigen. Dies kann zu einer Konkurrenzsituation um einzelne Energieträger zwischen den Sektoren führen. Zu den erforderlichen Untersuchungen gehört die Klärung der Frage, welche Energieträger für welche Anwendungen einge-

setzt werden sollen (Nutzungskonflikt für verschiedene Sektoren) und in welcher Form die zu importierende Energielücke geschlossen werden kann. Dabei ist es wichtig, auf Exergie-Aspekte zu achten, d. h. hochwertige Energieträger sollten nur für Anwendungen mit hohem Energiebedarf eingesetzt werden.

4.0 Zusammenfassung

Untersucht wurde, wie der österreichische Industriesektor mit 100% erneuerbarer Energie versorgt werden kann. Die durchgeföhrten Auswertungen basieren auf statistischen Daten des österreichischen Industriesektors. Diese wurden nach Industriebranchen, eingesetzten Energieträgern und Nutzenergiekategorien in der räumlichen Granularität der Bundesländerstruktur ausgewertet. Zusätzlich wurden Studien, Berichte sowie Experteninputs von Unternehmens- und Branchenvertretern, insbesondere bei der Analyse von Industrieprozessen, in die Untersuchungen einbezogen.

Anhand der drei definierten Szenarien *Basis*, *Effizienz* und *Umbruch* werden mögliche Wege zur Versorgung der Industrie mit erneuerbaren Energieträgern aufgezeigt. Die Szenarien zeigen eine Bandbreite des Endenergieverbrauchs von 77 TWh (*Effizienz*) bis 105 TWh (*Umbruch*) (*Status quo* 2020: 85 TWh). Die Ergebnisse zeigen, dass mit den in Österreich verfügbaren Erneuerbaren Potenzialen in allen Szenarien der industrielle EEV im Jahressaldo gedeckt werden könnte. Die Potenziale von 231 TWh reichen aber nicht aus, um den Endenergiebedarf aller Sektoren (*Verkehr*, *private Haushalte*, *öffentliche und private Dienstleistungen* und *Landwirtschaft*) zu decken. Daraus ergibt sich

eine Deckungslücke, die je nach Szenario 55 TWh bis 80 TWh beträgt. Diese Unterdeckung muss durch Importe gedeckt werden.

Die Elektrifizierung des Energiesystems durch sukzessive Substitution vornehmlich fossiler Energieträger auf Basis erneuerbaren Stroms wird bei der Dekarbonisierung eine Schlüsselrolle spielen. Dies spiegelt sich auch in den Studienergebnissen wider. Die Szenarien zeigen, dass elektrische Energie der zentralste Energieträger ist, um die österreichische Industrie mit erneuerbarer Energie zu versorgen. Die Ergebnisse weisen eine Bandbreite des elektrischen Energiebedarfs zwischen 28 TWh (*Effizienz*) und 64 TWh (*Umbruch*) auf. Damit steigt im *Umbruch* Szenario die Stromnachfrage der Industrie um mehr als das Doppelte gegenüber dem *Status quo* (27 TWh).

Sowohl die Erzeugung als auch der Verbrauch wurden auf Stundenbasis ausgewertet und miteinander verglichen. Durch diese Granularität können Aussagen über minimale und maximale Leistungsbedarfe sowie Unter- und Überdeckungen und in weiterer Folge zu möglichen Speicher- bzw. Importbedarfen getätigt werden. Für elektrische Energie ergibt sich je nach

Szenario eine Unterdeckung zwischen 1,7 TWh (*Effizienz*) und 6,2 TWh (*Umbruch*) für Österreich. Das heißt, dieser Bedarf kann nicht direkt mit den vorhandenen Erneuerbaren-Potenzialen gedeckt werden. Außerdem erhöht sich die berechnete Höchstlast der Industrie im *Umbruch* Szenario mit 13,8 GW um mehr als das Doppelte gegenüber dem *Status quo* (6,0 GW). Im Vergleich dazu lag die Höchstlast im öffentlichen Stromnetz in Österreich bei 10,4 GW im Dezember 2020. Daraus resultiert, dass die berechnete Höchstlast der Industrie im *Umbruch* Szenario um 32% höher ist als die derzeitig auftretende Höchstlast im öffentlichen Stromnetz.

Die stärksten Strombedarfsänderungen ergeben sich für die Bundesländer Oberösterreich und Steiermark, bedingt durch die Umstellung des Hochofenprozesses auf Direktreduktion mit Wasserstoff in der Eisen- und Stahlerzeugung im *Umbruch* Szenario. Vor allem in Oberösterreich macht sich diese Umstellung deutlich bemerkbar. So steigt der elektrische Energiebedarf der Industrie deutlich von 7,8 TWh (*Status quo*) auf 34,2 TWh (*Umbruch*). Auch die berechnete Höchstlast steigt um den Faktor vier von 1,7 GW auf 7,3 GW. Die Höchstlast an elektrischer Energie in Oberösterreich, insbesondere im Raum Linz, beträgt damit etwas mehr als die Hälfte der berechneten gesamten industriellen Höchstlast im *Umbruch* Szenario.

Die Versorgung der österreichischen Industrie mit 100% erneuerbaren Energien führt zu einem Wechsel der Energieträger zu einem höheren Anteil an biogener und elektrischer Energie. Dies macht eine Erweiterung und Optimierung der bestehenden Energieinfrastruktur aufgrund der veränderten Anforderungen notwendig. Insbesondere für die Eisen- und Stahlproduktionsstandorte ist eine Aufrüstung der Strominfrastruktur notwendig. Hier gilt es, integrierte Energieinfrastrukturen in Übereinstimmung mit den europäischen Netzentwicklungsplänen zu entwickeln, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Literaturverzeichnis

- [1] ÖVP & Die Grünen, „Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020–2024.“ Die neue Volkspartei & Die Grünen – Die Grüne Alternative, Wien, 2020.
- [2] STATISTIK AUSTRIA, „Useful energy analysis,” STATISTIK AUSTRIA – Bundesanstalt Statistik Österreich, 11 December 2020. [Online]. Available: www.statistik.at/web_en/statistics/EnergyEnvironmentInnovationMobility/energy_environment/energy/useful_energy_analysis/index.html. [Zugriff am 22 January 2021].
- [3] M. Anderl, A. Friedrich, M. Gangl, S. Haider, T. Köther, M. Kriech, C. Lampert, N. Mandl, B. Matthews, K. Pazdernik, G. Pfaff, M. Pinterits, S. Poupa, M. Purzner, W. Schieder, C. Schmid, G. Schmidt, B. Schodl, E. Schwager, B. Schwarzl, T. Michaela, P. Weiss, M. Wieser und A. Zechmeister, „Austria’s National Inventory Report 2020,” Umweltbundesamt GmbH, Vienna, 2020.
- [4] STATISTIK AUSTRIA, „Energy balances,” STATISTIK AUSTRIA – Bundesanstalt Statistik Österreich, 14 December 2020. [Online]. Available: www.statistik.at/web_en/statistics/EnergyEnvironmentInnovationMobility/energy_environment/energy/energy_balances/index.html. [Zugriff am 22 January 2021].
- [5] R. Geyer, S. Knöttner, C. Diendorfer und G. Drexler-Schmid, „IndustRIES – Energieinfrastruktur für 100 % Erneuerbare Energie in der Industrie,” AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien, 2019.
- [6] bmwfw, „Energiestatus 2016,” Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Wien, 2016.
- [7] E-Control, „Strom – Betriebsstatistik 2019 – Öffentliches Netz (Charakteristische Größen der Leistung und Arbeit),“ Energie-Control Austria für die Regulierung der Elektrizitäts- und Erdgaswirtschaft, July 2020. [Online]. Available: www.e-control.at/statistik/strom/bestandsstatistik. [Zugriff am 22 January 2021].
- [8] S. Moser, S. Goers, K. de Bruyn, H. Steinmüller, R. Hofmann, S. Panuschka, T. Kienberger, C. Sejkora, M. Haider, A. Werner, C. Brunner, J. Fluch und A. Grubbauer, „Renewables4Industry – Abstimmung des Energiebedarfs von industriellen Anlagen und der Energieversorgung aus fluktuierenden Erneuerbaren,” Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, Linz, 2018.
- [9] R. Christian, R. Feichtinger, R. Christian, R. Bolz, A. Windsperger, M. Hummel, P. Weish und E. Pfnier, „Zukunftsähnige Energieversorgung für Österreich,” Umwelt Management Austria, St. Pölten, 2010.
- [10] A. Veigl, „Energie- und Klimazukunft Österreich – Szenario für 2030 und 2050,” WWF Österreich, Wien, 2017.
- [11] W. Streicher, H. Schnitzer, M. Titz, F. Tatzber, R. Heimrath, I. Wetz, S. Hausberger, R. Haas, G. Kalt, A. Damm, K. Steininger und S. Oblasser, „Energieautarkie für Österreich 2050,” Universität Innsbruck – Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen, Innsbruck, 2010.
- [12] S. Moidl und H. Winkelmeier, „Neubewertung des Potentials zur Nutzung der Windkraft in Österreich bis zum Jahr 2030,” IG Windkraft, St. Pölten, 2018.
- [13] M. Fuchs, „Wasserkraftpotenzialstudie Österreich – Aktualisierung 2018,” Pöry Austria GmbH im Auftrag von Österreichs E-Wirtschaft, Wien, 2018.
- [14] J. Lindorfer, K. Fazeni, R. Tichler und H. Steinmüller, „Erhöhung des Einsatzes von erneuerbarem Methan im Wärmebereich,” Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, Linz, 2017.

- [15] R. Geyer, „Machbarkeitsstudie eines Plusenergie-Businessparks – im Zusammenhang mit den Bestrebungen der energieautonomen Stadtgemeinde Korneuburg 2036,“ Masterthesis, Hauskirchen, 2015.
- [16] AGGM Austrian Gas Grid Management AG, „Normierte und anonymisierte Absätze Tagesgang,“ AGGM Austrian Gas Grid Management AG, Wien, 2019.
- [17] Austrian Power Grid AG, „Erzeugung nach Typ,“ [Online]. Available: www.apg.at/de/marke/markttransparenz/erzeugung/Erzeugung%20pro%20Typ. [Zugriff am 12 Juni 2019].
- [18] „H2-Future-Projekt,“ 11 05 2019. [Online]. Available: www.h2future-project.eu/technology.
- [19] B. Kohl, *Energiebedarf H2-Herstellung – voestalpine Beitrag zum HyLaw Workshop*, Linz, 2018.
- [20] J. Prammer, *Energy in future steelmaking*, Brussels, 2018.
- [21] J. Prammer, *European Forum Alpbach – voestalpine*, Alpbach, 2018.
- [22] G. Mauschitz, „Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie. Berichtsjahr 2019,“ Technische Universität Wien (Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften), Wien, 2020.
- [23] S. Spaun, F. Papsch, R. Friedle, C. Bauer, C. Dankl, C. Stuzka, H. Reisinger, M. Maureder und A. Hoffmann, „Jahresbericht 2018/19 der österreichischen Zementindustrie,“ Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ), Wien, 2019.
- [24] T. Hettesheimer, „Technologiebericht 6.1 Energieeffiziente Prozesstechnologien,“ in *Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)*, 2018.
- [25] M. Blesl und A. Kessler, *Energieeffizienz in der Industrie*, Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2017.
- [26] J. Lässig, T. Schütte und W. Riesner, *Energieeffizienz-Benchmark Industrie – Energiekennzahlen für kleinere und mittlere Unternehmen*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [27] J. Lässig, T. Schütte und W. Riesner, *Energieeffizienz-Benchmark Industrie – Energieeffizienzkennzahlen 2017*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2020.
- [28] M. Pehnt, *Energieeffizienz – Ein Lehr- und Handbuch*, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [29] M. Dehli, *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe – Energietechnische Optimierungskonzepte für Unternehmen*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2020.
- [30] C. Arpagaus, F. Bless, M. Uhlmann, J. Schiffmann und S. S. Bertsch, „High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials,“ in *Energy 152 (2018)*, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.166>, 2018.
- [31] R. Grosse, C. Binder, S. Wöll, R. Geyer und S. Robbi, „Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU,“ Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Sektoraler Anteil am energetischen Endverbrauch im Jahr 2017 (Datenbasis: [4])	04
Abbildung 2	Endenergieverbrauch nach Energieträgern und industriellen Sektoren, Gesamtösterreich 2019 (Datenbasis: [2])	08
Abbildung 3	Relativer Einsatz von Energieträgern nach industriellen Sektoren, Gesamtösterreich 2017 (Datenbasis: [2])	09
Abbildung 4	Endenergieverbrauch nach Nutzkategorien und Energieträgern, Gesamtösterreich 2019 (Datenbasis: [2])	10
Abbildung 5	Endenergieverbrauch in TWh nach Energieträgern und erneuerbaren Potenzialen in Österreich	11
Abbildung 6	Elektrische Energie – detaillierte Analyse des Potenzials sowie des Bedarfs und der Deckung pro Szenario basierend auf dem Vergleich von Last- und Erzeugungsprofil in stündlicher Auflösung	13
Abbildung 7	Elektrische Energie – Leistungsdaten (Min/Max/Median) und Endenergiebedarf pro Szenario basierend auf dem Vergleich von Last- und Erzeugungsprofil in stündlicher Auflösung. In den jeweiligen Balken sind die Energiebedarfe angegeben. Die maximal auftretende Leistung in jedem Szenario kann oberhalb des Balkens abgelesen werden, die minimale Leistung unterhalb.	15
Abbildung 8	Vergleich des Lastgangs im öffentlichen Stromnetz (2019, in dunkelblau) [7] und der Szenarioergebnisse	15
Abbildung 9	Deckungsgrad der elektrischen Energie und erforderliches Potenzial an erneuerbarer Energie im Effizienz (oben) und Umbruch (unten) Szenario.	16
Abbildung 10	Headline der IndustRiES Web-Applikation	24
Abbildung 11	Dashboard des NEAT-Tools. Links befinden sich Auswahlboxen. Die zugehörigen Daten werden rechts als Energieflussdiagramm als auch als Datentabelle angezeigt.	26
Abbildung 12	Dashboard des NEAT-Tools. Links befinden sich zwei Auswahlboxen. Die zugehörigen Daten werden in der Mitte in der Österreichkarte mit den entsprechend gewählten Zeitcharakteristika angezeigt. Rechts daneben ist die Verteilung der Jahresbilanz auf die einzelnen Bundesländer ersichtlich.	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Einteilung der Sektoren, die zur energieintensiven bzw. -extensiven Industrie in Österreich zählen (Einteilung nach [6], Daten aus [2])	07
Tabelle 2	Überblick über die Storylines der drei definierten Szenarien (detaillierte Annahmen sind der IndustRiES-Studie zu entnehmen)	31

Abkürzungsverzeichnis

AGGM	AGGM Austrian Gas Grid Management AG
APG	Austrian Power Grid AG
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of Performance
EEV	Endenergieverbrauch
HT-WP	Hochtemperatur-Wärmepumpe
IndustRiES	Gleichnamiges Tool zur Studie, um Aussagen zur Energieinfrastruktur treffen zu können
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Mt	Mio. Tonnen bzw. Megatonnen
NEAT	Nutzkategorie- und Energie-Analyse-Tool (Austria)
RES	Renewable Energy Sources
WP	Wärmepumpe

Anhang

Anleitung zur interaktiven Web-Applikation

Bezugnehmend auf die Umsetzung der Web-Applikation des „*IndustRiES-Tools – Energieinfrastruktur in einem 100 % Erneuerbaren Szenario für die österreichische Industrie*“ erfolgt eine Kurzbeschreibung der umgesetzten Funktionalitäten.

Durch die interaktive Darstellungsmöglichkeit der Ergebnisse können Abschätzungen getätigt werden, wann und wo welcher Energieträger in welchen Mengen benötigt wird. Die Umsetzung dient in erster Linie dazu, das Thema „Dekarbonisierung“ öffentlichen Stakeholder mithilfe von Digitalisierungsmaßnahmen einfach („spielerisch“) zugänglich zu machen.

Die Web-Applikation ist unter dem Link <https://industries.ait.ac.at> (auch auf mobilen Geräten) abrufbar.

In der Headline sind der hier vorliegende Aktualisierungsbericht (links oben) sowie der Endbericht zu der durchgeföhrten Studie *IndustRiES – Energieinfrastruktur für 100 % Erneuerbare Energie in der Industrie* (rechts oben) abrufbar. Durch Klick auf die beiden Logos werden die entsprechenden Unternehmenswebsiten angesurft. Kurzbeschreibungen zum Projekt sowie den beiden umgesetzten Tools „NEAT“ und „IndustRiES“ können über ein Pop-up Fenster „Infos zum Projekt“ aufgerufen werden.

Abbildung 10
Headline der IndustRiES
Web-Applikation

NEAT-Tool

Beim Start der Web-Applikation wird das Dashboard des NEAT-Tools angezeigt (siehe Abbildung 11). Dies ist ein mächtiges Instrument, da mehr als 100.000 Datensätze der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria mit wenigen Klicks ausgewählt, parametrisiert und angezeigt werden können. Die Daten werden sowohl als Energieflussdiagramm als auch Datentabelle angezeigt. Durch den Open-Access-Ansatz können Anwender (interessierte Öffentlichkeit) die zur Verfügung gestellten Daten runterladen (z. B. Screenshots über das Kamerasymbol erstellen) und weiterverwenden. Die einzelnen Kategorien können, sowohl im Energieflussdiagramm als auch in der Datentabelle, verschoben werden und so individualisierte Grafiken erzeugt werden.

Neben den historischen Daten (zeigen den aktuellen Datensatz bis zurück zum Jahr 1993) werden zusätzlich die in der *IndustRiES*-Studie ermittelten Ergebnisse für die drei Szenarien *Basis*, *Effizienz* und *Umbruch* angezeigt. Im Zuge des Aktualisierungsprozesses wurden die Daten von 2017 auf die aktuell verfügbaren Daten von 2019 nachgezogen und alle Szenarien neu berechnet und bewertet.

Tiefere Analysen können auf Bundeslandebene, nach dem Bereich und einzelnen Subsektoren durchgeführt werden. Eine Infobox führt die Datenquelle (historische Daten) bzw. die Key-Storylines der Szenarien an.

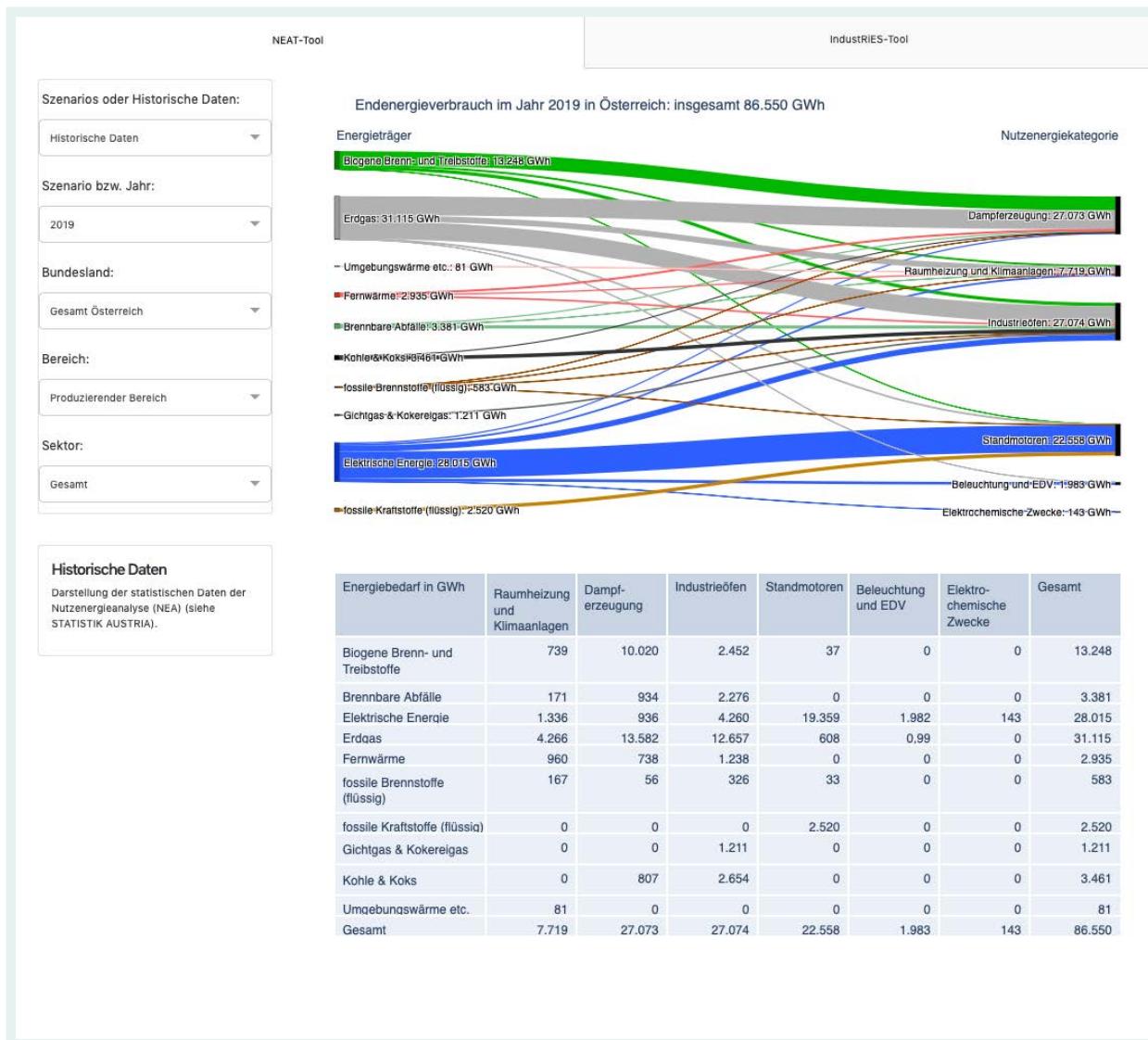


Abbildung 11

Dashboard des NEAT-Tools. Links befinden sich Auswahlboxen. Die zugehörigen Daten werden rechts als Energieflussdiagramm als auch als Datentabelle angezeigt.

IndustRIES-Tool

Das Dashboard des *IndustRIES*-Tools ermöglicht die Darstellung von zeitlichen Verläufen von Endenergieverbräuchen nach Szenario und einzelnen Energieträgern. Die Daten werden in einer Österreich Karte differenziert nach Bundesländern und in dem Tortendiagramm rechts auf Jahresbilanz angezeigt.

Da in vielen Produktionsbetrieben ein zeitlicher (saisonal, Werktags/Wochenende) Unterschied bemerkbar ist, kann der Verlauf nach Energieträgern anhand von Monatsbasis über den Slider können ausgewählt und nachvollzogen werden. Zusätzlich kann zwischen Werktag und Wochenende unterschieden werden. Bei der Auswahlbox „Energieträger“ kann am Ende der Liste „Elektrische Energie – Deckung“ ausgewählt werden. Die Funktion ist nur für den Energieträger elektrische

Energie möglich, da konkrete Bedarfs- und Erzeugungsprofile hinterlegt sind. Positive Werte bedeuten eine Überdeckung (mehr Potenzial verfügbar als Bedarf), negative Werte eine Unterdeckung (weniger Potenzial verfügbar als Bedarf).

Hinweis: Das Tool arbeitet im Hintergrund mit sämtlichen Daten auf Stundenbasis, die in Summe 5 Millionen Datensätze umfassen. Aufgrund der besseren Usability wurde statt einem (zu Beginn umgesetzten) „Stunden-Slider“ auf eine aggregierte Anzeige gewechselt um eine nachvollziehbarere Darstellung zu ermöglichen. Nach Analyse der Charakteristika wurde daher die Auswertung nach Monaten & Werktagen/Wochenende gewählt, welches das Tool im Hintergrund aus den 5 Mio. Datensätze aggregiert.

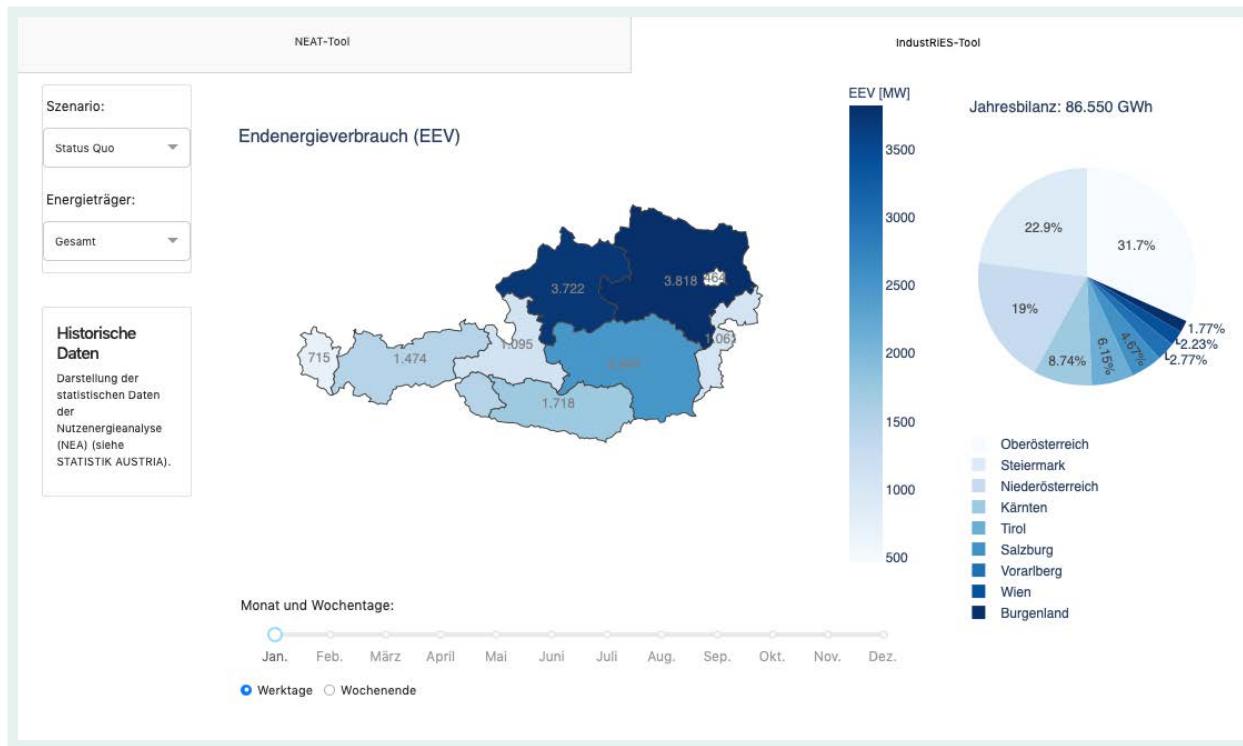


Abbildung 12
Dashboard des NEAT-Tools. Links befinden sich zwei Auswahlboxen. Die zugehörigen Daten werden in der Mitte in der Österreichkarte mit den entsprechend gewählten Zeitcharakteristika angezeigt. Rechts daneben ist die Verteilung der Jahresbilanz auf die einzelnen Bundesländer ersichtlich.

Kurzumriss zur Methodik (für Details siehe *IndustRiES Studie*)

Im Rahmen der *IndustRiES*-Studie wurde eine Datenbasis in einem kombinierten Top-down- und Bottom-up-Ansatz aufgebaut. Beispiele für top-down ermittelte Datensätze sind z. B. der EEV pro Energieträger für jeden Sektor und jede Nutzenergielokation aus verfügbaren, nationalen Statistikdatenbanken sowie die österreichischen Potenziale für erneuerbare Energieträger. Ausgangsbasis waren die Nutzenergiestatistiken (aktuell verfügbar von 1993 bis 2019), da sie Informationen über den EEV und dessen Verteilung nach sechs Nutzenergielokationen (*Raumheizung und Klimatisierung, Dampferzeugung, Industrieöfen, Standmotoren, Beleuchtung und IT sowie elektrochemische Zwecke*) liefern. Darauf aufbauend erfolgte die weitere Datenaufbereitung und Analyse der Verbrauchsmuster des österreichischen Produktionssektors. Die EEV-Statistiken weisen einen höheren Detaillierungsgrad im Vergleich zu den Primärergiestatistiken auf, daher beziehen sich sämtliche Analysen in Analogie zum EEV. Systemgrenze ist Österreich – d. h. die inländischen Potenziale werden mit den verfügbaren Potenzialen abgeglichen. Können diese nicht durch das inländische Angebot gedeckt werden, muss die Nachfrage über ausländische Energiemarkte gedeckt werden, was zu Energieimporten resultiert.

Informationen, die in einem Bottom-up-Ansatz ermittelt wurden, waren z. B. alternative Produktionsrouten und Technologieoptionen, potentielle alternative Energieträger, benötigte Temperaturen im Produktionsprozess, mögliche Effizienzsteigerungen in den Sektoren, teilweise zugekauft Energie sowie Eigenversorgung (z. B. KWK) auf Standortebene. Dazu wurden Produktionsbetriebe konsultiert und Daten aus Unternehmensberichten gesammelt. Des Weiteren wurden Produktionsprozessbeschreibungen und -parameter von Referenzanlagen sowie alternative Produktionswege aus Forschungsberichten eruiert. Die Informationen aus persönlichen Interviews, Veröffentlichungen,

Forschungsberichten oder Firmenberichten wurden bei der Szenario Entwicklung und der Parameterauswahl berücksichtigt. Darüber hinaus wurden die ersten Ergebnisse im Rahmen eines partizipativen Prozesses Industrieunternehmen bzw. Branchenvertretern vorgestellt. Diese Schleife ermöglichte eine Stärkung der Annahmen und damit robustere Ergebnisse. In den folgenden Unterkapiteln wird mehr Einblick in die oben beschriebenen Themen (Daten und Szenarien) gegeben.

Basisdaten

Erneuerbare Energiepotenziale in Österreich

Um den Energiebedarf mit erneuerbaren Energien decken zu können, ist es notwendig, die Verfügbarkeit und Potenziale von erneuerbaren Energiequellen zu kennen. Daher wurden sieben Studien ausgewertet, die das technische Potenzial der erneuerbaren Energien in Österreich bewerten. Je nach Studie liegen die Abschätzungen für Österreich zwischen 219 und 359 TWh an erneuerbarer Energie (vgl. [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]). Zum Vergleich: In Österreich lag der EEV im Jahr 2020 bei 292 TWh und in der Industrie bei 85 TWh [2]. Für diese Arbeit wurde das gesamte technische Potenzial der erneuerbaren Energien schließlich mit 231,5 TWh angenommen (vgl. Abbildung 5), wobei die aktuellsten Potenzialstudien ([8], [12], [13]) herangezogen wurden. Das betrachtete technische Potenzial für elektrische Energie beträgt 118,9 TWh/a, bestehend aus 51,1 TWh/a Wasserkraft, 32,7 TWh/a Photovoltaik, 22,5 TWh/a Windkraft und 11,7 TWh/a biogen. Darüber hinaus wird der aktuelle Stand der Abfall- und Geothermie von 0,9 TWh/a berücksichtigt. Das technische Potenzial für thermische Energie beträgt 112,6 TWh/a und setzt sich aus 59,9 TWh/a biogenen Brennstoffen und 46,0 TWh/a Umweltwärme zusammen. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass die derzeitigen Energieträger brennbare Abfälle mit 3,4 TWh/a und Fernwärme mit 3,2 TWh/a für die Industrie noch zur Verfügung stehen.

Analyse der Industriesektoren und ihrer Energieversorgung

Für jeden der 13 statistisch erfassten Industriesektoren wurden die derzeit eingesetzten Energieträger und Technologien und, soweit möglich und relevant, deren Prozesscharakteristika analysiert. Für jeden Sektor wurden Energieflossdiagramme erstellt, das Auskunft über die Menge des jeweiligen Energieträgers und die Nutzenergiekategorie gibt (Energieflossdiagramme sind online unter <https://industries.ait.ac.at> abrufbar). Bezogen auf den EEV liegt der Anteil der erneuerbaren Energien im gesamten österreichischen Industriesektor derzeit bei 46%, wobei der holzverarbeitende Sektor mit 79% erneuerbarer Energie den größten und der Bau Sektor mit nur 18% den kleinsten Anteil hat (vgl. Abbildung 2) [2].

Bedarfs- und Erzeugungsprofile

Die Jahresenergiebedarfe aus den Szenario Ergebnissen wurden mit industriellen Lastprofilen in stündlicher Auflösung gekoppelt. Die verwendeten Profile, ihre Herkunft und ihre Verwendung werden kurz skizziert.

Für die Berechnung des Erzeugungsverhaltens und damit des Strombedarfs wurden gemessene Lastprofile von 29 Unternehmen, die verschiedene Branchen des produzierenden Sektors repräsentieren, aus [15] verwendet. Die industriellen Gasbedarfsprofile wurden von der AGGM Austrian Gas Grid Management AG in standardisierter und anonymisierter Form zur Verfügung gestellt [16].

Das Erzeugungsprofil der elektrischen Energie basiert auf den Daten der APG-Erzeugungsstatistik [17] und setzt sich aus Windkraft, PV, biogenen, geothermischen, Abfall- und Wasserkraft zusammen. Die Wasserkraft

wird in die Kategorien Laufwasserkraftwerke sowie (Pump-)Speicherkraftwerke unterteilt. Letztere enthalten auch negative Werte, wenn sich die Kraftwerke z. B. bei niedrigen Strompreisen im Pumpbetrieb befinden. Dies führt zu teilweise negativen Werten für die Gesamtenerzeugung von elektrischer Energie, wenn der Pumpbetrieb die Kapazitäten anderer Erzeuger überwiegt. Dies spiegelt implizit ein Marktverhalten für Strom wider. Geothermie und Müllverbrennung werden bei der Stromerzeugung gemäß den Produktionsdaten als konstant angenommen.

Entwicklung der Szenarien

Basierend auf der aufgebauten Datenbasis und den Erkenntnissen aus der Datenerhebungsphase wurden die drei Szenarien *Basis*, *Effizienz* und *Umbruch* definiert, in denen die österreichische Industrie zu 100% durch erneuerbare Energie versorgt werden kann. Dabei wurden insbesondere die jeweiligen Prozessanforderungen, Nutzenergiekategorien sowie mögliche Technologieoptionen und sinnvolle Einsatzgebiete von erneuerbaren Energieträgern betrachtet. Die Szenarien Entwicklung wurde durch einen partizipativen Prozess mit starker Einbindung von Experten und bilateralen Gesprächen mit Unternehmens- und Branchenvertretern begleitet. Die drei Szenarien stellen unterschiedlich ambitionierte Zielerreichungsgrade dar (siehe die in Tabelle 2 dargestellten Storylines), wobei das *Umbruch* Szenario auch die Prozessumstellung im Eisen- und Stahlsektor auf Direktreduktion mit Wasserkraft beinhaltet (siehe u. a. [18], [19], [20], [21]). Für jedes Szenario wurden der industrielle Endenergiebedarf und die notwendigen Energieträger ermittelt.

Annahme / Szenario	Basis	Effizienz	Umbruch
Ausgangslage	Status quo (≤ 2020)	Basis Szenario	Effizienz Szenario
Thermische Anwendungen	Niedertemperatur durch Wärmepumpen; KWK unverändert	Dampferzeugung & Industrieöfen (insbesondere Trocknung) teilweise durch Wärmepumpen; KWK unverändert	Höhere Durchdringung von Wärmepumpen (ersetzen Dampferzeugung bis 160 °C); KWK nur für geschlossene Stoffkreisläufe (z. B. Zellstoff)
Schlüsselaspekte	Brennstoffumstellung auf erneuerbare Energien (biogene/el. Energie); Elektrifizierung von fossilen Standmotoren	Prozesseffizienz (Wert wurde für jeden Sektor und jede Nutzenergiekategorie einzeln ermittelt)	Biogene und brennbare Abfälle hauptsächlich für Hochtemperaturanwendungen (Stichwort: Exergie)
Eisen- und Stahlproduktion	Kohle und Koks sowie Gicht- und Kokereigas bleiben prozessbedingt unverändert		Direkte Reduktion mit Wasserstoff

Tabelle 2

Überblick über die Storylines der drei definierten Szenarien
(detaillierte Annahmen sind der IndustriES-Studie zu entnehmen)

Außerdem wurde angenommen, dass sowohl Strom als auch Fernwärme vollständig aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt wird und, dass die von diesen beiden bereitgestellte Menge in absoluten Werten für alle Szenarien gleichbleibt. Für brennbare Abfälle wurde angenommen, dass sie ein erneuerbarer Energieträger sind, da sie in einigen Sektoren (z. B. bei der Zementherstellung) bereits fossile Brennstoffe substituieren. Es wird davon ausgegangen, dass sich Kreislaufwirtschaft („Circular Economy“) in der Gesellschaft und im Wirtschaftssystem stärker etablieren wird, so dass die Einsparung von Abfällen sowohl das Wirtschafts- als auch das Bevölkerungswachstum kompensiert und somit auch das Energieangebot an brennbaren Abfällen konstant bleibt. In Österreich wird bereits heute ein hoher Anteil ($>80\%$) an fossilen Brennstoffen durch brennbare Abfälle in der Zementproduktion substituiert (vgl. [22], [23]), die dem Sektor *Steine und Erden, Glas* zugeordnet ist. Es wird daher angenommen, dass dieser Energieträger der Zementindustrie in gleicher Menge zur Verfügung steht.

Die Umsetzung der Szenarien basiert auf der individuellen Auswahl der Parameter i) Wirkungsgradsteigerung und ii) Energieträger-Durchdringungsrate. Die Anzahl der individuell gewählten Parameter beträgt (8) im *Basis* Szenario und erhöht sich auf (53) im *Effizienz* bzw. *Umbruch* Szenario. Die Parameter wurden individuell nach Sektor, Nutzenergiekategorie und teilweise auch nach Bundesland ausgewählt. Die individuell ausgewählten Parameter werden im Folgenden beschrieben:

Effizienzsteigerung: Die Effizienzsteigerung wird in den Berechnungen als Prozentwert eingesetzt. Die Werte variieren je nach Anwendungsfall zwischen 2–15%. Eine Effizienzsteigerung von 10% bedeutet, dass der Energiebedarf im Szenario um 10% gegenüber dem *Status quo* sinkt. Je nach Sektor und Nutzenergiekategorie wurden einzelne Werte auf Basis von Literaturangaben (vgl. [24], [25], [26], [27], [28], [29]) und Abschätzungen der Industrie gewählt.

Umstieg von fossilen Brennstoffen auf biogene und elektrische Energie: Die Durchdringungsrate dient dazu, die Anteile des neuen Energieträgers beim Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger zu ermitteln. Hier wurde in Prozent angegeben, welcher Anteil auf biogene oder elektrische Energie umgestellt wird.

COP Wärmepumpe (WP): Wo immer möglich, werden Niedertemperaturanwendungen durch WP abgedeckt (berücksichtigt bis zu 160 °C). Für alle Sektoren und die jeweilige Nutzenergiekategorie werden die spezifischen Temperaturanforderungen berücksichtigt. Daraus ergeben sich individuelle Leistungszahlen (COP) von 1,9 bis 3,8. Ein COP von 1 entspricht einer reinen Elektrifizierung (100% elektrische Energie und keine Umgebungswärme). Aus den COPs wird der jeweilige Anteil der Umgebungswärme berechnet, den die WP als Wärmequelle benötigt. Aus dem Carnot-Wirkungsgrad und dem WP-Gütegrad wird der erreichbare COP_{Real} berechnet. Untersuchungen geben den Bereich der erreichbaren WP-Gütegrade zwischen 0,4 und 0,6 an [30]. Für die COP-Berechnung kann als Faustformel ein WP-Gütegrad von 0,5 verwendet werden. Messdaten verschiedener WP auf dem Prüfstand einer Zertifizierungsorganisation bestätigen diesen Wert [31].

Herausgeber

Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung
Leopold-Ungar-Platz 2/Stiege 1/Top 142, 1190 Wien
Tel: (+43 1) 585 03 90
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Projektbetreuung

Elvira Lutter, Programm-Management, Klima- und Energiefonds

Erstellt von

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 6, 1210 Wien, Österreich
www.ait.ac.at

Projektleitung

Roman Geyer, Research Engineer, Integrated Energy Systems, Center for Energy
Tel: (+43) 505 50-6350
roman.geyer@ait.ac.at

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Studie.
Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.
Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Klimaschutz,
Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) sind für die
Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angieneering.net

Titelfoto

Laboranlage zur Methanisierung an der Montanuniversität Leoben
Quelle: Montanuniversität Leoben/Lehrstuhl für Verfahrenstechnik
des industriellen Umweltschutzes, Foto: Croce & Wir

Herstellungsart: Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft.
Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at

In Kooperation mit:

 **Bundesministerium**
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie