

Die Rolle der Energieeffizienz in der Transformation zur Klimaneutralität – Beispiel KMUs in Unterkärnten

Andreas Christian MELTZER¹, Martin BEERMANN, Gerfried JUNGMEIER
JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Lakeside B13b, A-9020 Klagenfurt, Austria,
+436646028767636, andreas.meltzer@joanneum.at, <https://www.joanneum.at/>

Kurzfassung:

Die Dekarbonisierung der Energieversorgung der europäischen Industrie stellt eine substantielle Herausforderung für die kommenden Jahrzehnte dar. Um die derzeit eingesetzten fossilen Energieträger zu ersetzen, ist ein umfassender Ausbau der erneuerbaren Energieträger nötig. Am Fallbeispiel der Industrieregion Unterkärnten wird skizziert, dass das Ziel der Klimaneutralität Schritte auf mehreren Ebenen erfordert: Einerseits ist die Substitution der fossilen Energieträger zentral, um die Klimaziele bis 2030 zu erreichen. Andererseits sind umfassende Effizienzmaßnahmen notwendig, damit der zukünftige Bedarf die möglichen Ausbaupotentiale nicht überschreitet. Hierbei sollte insbesondere die Reduktion des Nutzenergiebedarfs im Fokus stehen. Mit der Methode der dynamischen Lebenszyklusanalyse wurden Transformationspfade Richtung Klimaneutralität für eine Industrieregion erstellt und mögliche Beiträge von Energieeffizienz und Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energieträger untersucht. Die Studienergebnisse legen nahe, dass durch die Einführung radikaler Produkt- und Prozessinnovationen der Mehrbedarf an erneuerbaren Energieträgern gering gehalten werden kann.

Keywords: Energieeffizienz, Nutzenergieproduktivität, Dekarbonisierung, Klimaneutralität, Dynamische LCA

1 Einleitung

Die Diskussion um mögliche Wege zu einer klimaneutralen Industrie hat in den letzten Jahren erheblichen Aufschwung bekommen. Auch für die österreichische Industrie wurden bereits verschiedenste Untersuchungen vorgenommen, die mögliche Transformationspfade zu den Klimazielen aufzeigen.

Geyer et al. [1] untersuchten 2019 den Energieverbrauch der österreichischen Industrie und leiteten daraus verschiedene Transformations-Szenarien ab. Im Vergleich mit verschiedenen Studien zum Potential erneuerbarer Energiebereitstellung in Österreich legten sie nahe, dass der Mehrbedarf an Erneuerbaren gedeckt und ein verbleibendes Potential für andere Sektoren genutzt werden kann. Diendorfer et al. [2] diskutierten im Jahr 2021 technologische Pfade für verschiedene österreichische Industriebranchen, um die Klimaziele zu erreichen und stellten fest, dass die erneuerbaren Energieträger eines weitreichenden Ausbaus bedürfen um zukünftige Energiebedarfe der Industrie zu decken. Baumann et al. [3] konzentrierten sich auf das mögliche zukünftige Angebot und die Nachfrage von erneuerbarem Gas in Österreich im Jahr 2021. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Produktionskapazitäten für erneuerbares

¹ Jungautor

Gas (z.B. H₂, Biomethan) in Österreich begrenzt sind und dass ein beträchtlicher Anteil des für die Dekarbonisierung der Industrie benötigten erneuerbaren H₂ importiert werden muss. Das NEFI-Netzwerk [4] veröffentlichte 2022 eine Studie zu möglichen Transformationspfaden der österreichischen Industrie, die insbesondere auf die Substitution der fossilen Energieträger in verschiedenen Industriezweigen fokussiert ist und kam zu dem Schluss, dass der Energiebedarf der meisten Industriebranchen in Zukunft steigen wird. Die Österreichische Energieagentur [5] analysierte 2022 die Möglichkeiten zur Substitution von russischem Erdgas durch andere Energieträger und wies darauf hin, dass der Gesamtenergieverbrauch in Österreich gesenkt werden sollte, und betonte die Notwendigkeit einer beschleunigten Einführung von H₂-Technologien. Der Aufbau einer (internationalen) H₂-Infrastruktur zur Dekarbonisierung wird auch von der österreichischen und der aktuellen europäischen H₂-Strategie befürwortet und stellt einen zentralen Teil der Dekarbonisierungsstrategie dar.[6], [7]

Eine nähere Untersuchung der oben angeführten Literatur ergab, dass in beinahe allen Szenarien der genannten Studien und über alle Industriebranchen hinweg von einem signifikanten Wachstum des Bedarfs an erneuerbaren Energieträgern bis 2040 ausgegangen wurde. Gleichzeitig zeigt sich, dass der steigende Energiebedarf der verschiedenen Sektoren nur teilweise aus österreichischer Erzeugung gedeckt werden kann. Betrachtet man den erwarteten Mehrbedarf an erneuerbaren Energien verschiedener Sektoren (wie etwa Verkehr und Haushalte), so erscheint der benötigte Ausbau an erneuerbaren Energieträgern schwer in der geforderten Zeit umsetzbar sowie kosten- und ressourcenintensiv.

Unsere Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass dieser schwer zu realisierende Mehrbedarf durch radikales Neudenken der derzeitigen in der Industrie angewandten Prozesse und Materialien weitgehend vermieden werden könnte. Im nächsten Abschnitt wird auf die angewandte Methodik eingegangen, gefolgt von einem Abriss der wichtigsten Erkenntnisse hinsichtlich möglicher Effizienzmaßnahmen. Am Ende des Artikels werden mögliche Einschränkungen und Schlussfolgerungen diskutiert.

2 Methodische Vorgangsweise

Im Rahmen des LOCA2-Projektes² wurde untersucht, unter welchen Rahmenbedingungen und mit welchen Maßnahmen die Klimaziele für die Betriebe in der Region Unterkärnten erreicht werden können. Die Zielregion Unterkärnten umfasst die drei Bezirke Völkermarkt, Wolfsberg und Sankt Veit. Diese Region ist traditionell geprägt von treibhausgasintensiven (THG-intensiven) Industriebetrieben. Es findet sich aber auch eine hohe Anzahl von klein- und mittelständischen Unternehmen (KMUs), die mit den ansässigen Großbetrieben wirtschaftlich verflochten sind. Die Unterkärntner Industrie hatte 2018 einen Anteil von 37% an der Wertschöpfung des produzierenden Bereiches in Kärnten und weist ob der dort ansässigen Betriebe einen hohen Transformationsbedarf auf. In drei Szenarien wurden mögliche Transformationspfade skizziert und untersucht, wie sich die zukünftigen Energiebedarfe unter verschiedenen Annahmen ändern.

² LOwCArbon LOwERCArinthia TRANSformation

2.1 Untersuchungsrahmen

Folgende Branchen wurden in die detaillierte Analyse miteinbezogen:

- Steine und Erden, Glas;
- Holzverarbeitung;
- Maschinenbau;
- Chemie und Petrochemie;
- Eisen- und Stahlerzeugung;
- NE-Metalle;
- Fahrzeugbau;
- Papier und Druck.

Um Transformationspfade in Richtung Klimaneutralität zu erstellen, wurden in einem ersten Schritt die Energieverbräuche aller produzierenden Unternehmen in der Region abgeschätzt. Dazu wurden Daten der Statistik Austria zum End- bzw. Nutz-Energiebedarf der Industrie in Gesamt-Kärnten verwendet, die über die Anzahl der Beschäftigten auf die Zielregion skaliert wurden.[8] Über die so angenäherten Energieverbräuche im Jahr 2019 wurde mittels Emissionsfaktoren für Energieträger aus gängigen Lebenszyklus-Datenbanken eine Status-quo Klimabilanz der Region erstellt.[9]

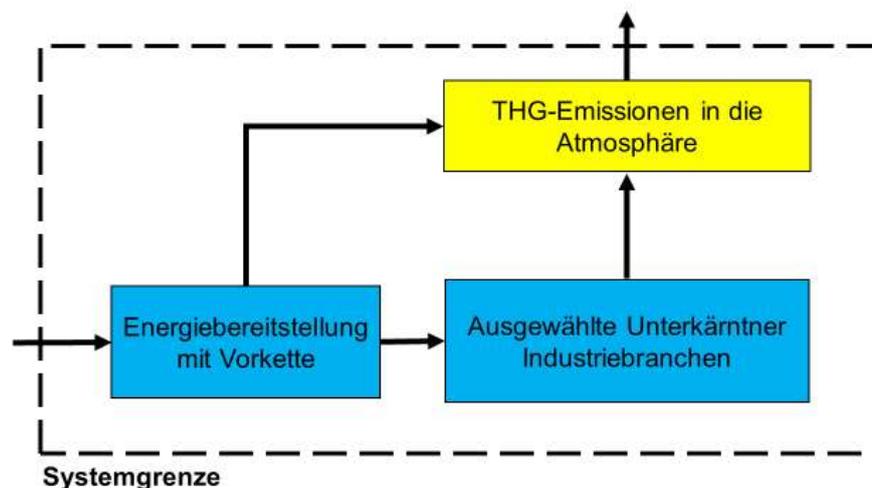


Abbildung 1: Systemgrenze der THG-Bilanzierung ausgewählter Unterkärntner Industriebranchen.

Auf Basis dieser Status-quo-Analyse wurde ein dynamisches LCA-Modell erstellt, das es erlaubt, verschiedene Technologieentwicklungen und Veränderungen der (technischen und wirtschaftlichen) Rahmenbedingungen und deren Auswirkungen auf die zukünftigen THG-Emissionen abzuschätzen.

Der Untersuchungsrahmen zur Berechnung der THG-Emissionen (das sind neben CO₂ auch CH₄, N₂O und halogenierte Kohlenwasserstoffe) umfasst sämtliche Aktivitäten, die zur Energiebereitstellung notwendig sind und ist in Abbildung 1 dargestellt. Er beinhaltet die gesamte Vorkette der Energieträger, die Herstellung von Anlagen zur Bereitstellung erneuerbarer Energie und die Emissionen, die durch Verbrennungsprozesse an den Industriestandorten entstanden. Die Verbrennung biogener Energieträger wurde grundsätzlich

als klimaneutral angenommen³ – mit Ausnahme der entstehenden CH₄- und N₂O-Emissionen. D.h., dass die Biomasseentnahme im Gegensatz zu den anderen Größen nicht dynamisch modelliert ist. Prozessemissionen und Emissionen die in der Vorkette durch Rohstoffbereitstellung, Transporte, etc. entstehen, werden hier explizit nicht betrachtet, da die Datenlage dazu mit großen Unsicherheiten behaftet ist.

Als Endpunkt für die Transformationspfade wurden die Klimaziele der österreichischen Bundesregierung und der Europäischen Union definiert, das bedeutet konkret:

- 2030 Reduktion der Emissionen in Scope 1: -55% gegenüber 1990
- Durch das Industriewachstum entspricht das einer Reduktion um -61% basierend auf dem Jahr 2019.[2]
- 2040 Reduktion der Emissionen in Scope 1 auf Netto-Null. Dies gilt im Modell auch für Unternehmen, die dem europäischen Emissionshandelssystem (ETS) unterliegen.

2.2 Erstellung der Transformationspfade

Die Transformationspfade wurden so gewählt, dass ausgehend vom Status-quo 2019 die Klimaziele erreicht werden können. Sie sollen veranschaulichen, welche Maßnahmen gesetzt werden können, um die Ziele zu erreichen. Dabei spielen mehrere Parameter eine wesentliche Rolle. Diese umfassen:

- Industriewachstum
- Reduktion des Nutzenergiebedarfs bei gleichem Nutzen
- Umstellung auf Erneuerbare
- Verbesserung der Umwandlungseffizienz und
- Verbesserung der Emissionsfaktoren und Umwandlungsverluste im Energienetz, sowie des Wirkungsgrads der Wasserstoffelektrolyse

Es handelt sich dabei um ein dynamisches LCA-Modell. D.h., dass sich unter anderem die Emissionsfaktoren, Nutzenergieverbräuche und Umwandlungseffizienzen mit der Zeit verändern. Es wurde also berücksichtigt, dass sich die Rahmenbedingungen bis zu den Zieljahren 2030/2040 dynamisch ändern können.

In drei verschiedenen Szenarien („Effizienz“, „Erneuerbare“, „Transformation“ -- siehe Tabelle 1) wurde untersucht, welche Kombinationen, Größen und zeitlichen Verläufe der Parameter die Erreichung der Klimaziele ermöglichen und welche Rolle dabei insbesondere der Effizienzsteigerung zukommt (siehe Tabelle 3).

Tabelle 1: Eckdaten der drei Transformationsszenarien.

Parameter	Szenarien		
	„Effizienz“	„Erneuerbare“	„Transformation“
Umwandlungseffizienz	hohe Wirkungsgrade	hohe Wirkungsgrade	mäßige Wirkungsgrade
Umstellung auf Erneuerbare	langsamere Umstellung	schnellere Umstellung	mittelschnelle Umstellung

³ Vgl. auch [14]

Reduktion Nutzenergiebedarf	starke Reduktion	schwache Reduktion	mittlere Reduktion
--	------------------	-----------------------	--------------------

Die Definition der Szenarien folgt dem Gedanken, dass für die Transformation zur Klimaneutralität zwei Hauptstrategien verfolgt werden sollten. Die Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energieträger und weitreichenden Effizienzsteigerungen. Daher gibt es jeweils ein Szenario mit Fokus auf Effizienz bzw. schneller Umstellung auf Erneuerbare und das Szenario „Transformation“ als Mittelweg zwischen beiden. Der Horizont der zeitlichen Umsetzung basiert auf Literaturdaten.[1],[2] Die angenommene Steigerung der Umwandlungseffizienz und die Potentiale zur Reduktion des Nutzenergiebedarfs wurden über eine Experteneinschätzung⁴ angenähert. Die angenommenen Werte müssen als grobe Annahmen gesehen werden und sollen veranschaulichen, welchen Beitrag Verbesserungen im Bereich der Effizienz zur Transformation Richtung Klimaneutralität leisten können.

2.3 Beispielhafte Maßnahmen

Im Rahmen des Projektes wurde der Begriff „Umwandlungseffizienz“ dafür verwendet um zu beschreiben, welche Verluste bei der Umwandlung von Primär- zu Endenergie, und dann weiter zu Nutzenergie anfallen. Die energetischen Verluste sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Die Reduktion des Nutzenergiebedarfs an sich spielt im Modell ebenfalls eine wichtige Rolle und soll im Folgenden besonders hervorgehoben werden.

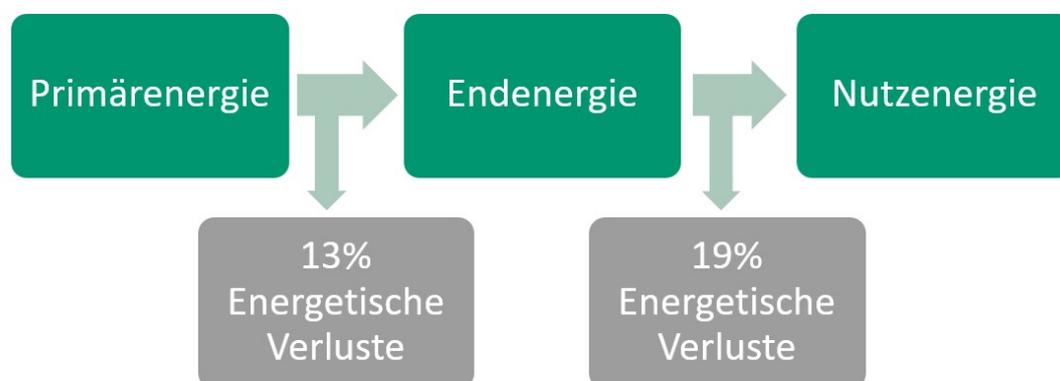


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Umwandlungsprozesse in der Energieversorgung der Unterkärntner Industrie inkl. Daten zu den energetischen Verlusten im Jahr 2019.

2.3.1 Umwandlungseffizienz

Unter Primärenergie versteht man Energie in einer noch nicht weiter aufbereiteten Form. Darunter fallen beispielsweise Erdgas, Kohle, aber auch aus erneuerbaren Quellen gewonnene Energie. Diese Energie wird in weiterer Folge meist umgewandelt und dem Endkonsumenten zur Verfügung gestellt. Erdöl wird etwa aufbereitet und in Treibstoffe weiterverarbeitet, Erdgas wird zur Bereitstellung von Fernwärme verbrannt und Wasserkraft wird zur Erzeugung von elektrischem Strom genutzt. Dabei fallen jeweils

⁴ Workshop Gerfried Jungmeier und Andreas Meltzer, September 2022

Umwandlungsverluste an, etwa in Form von Abwärme. Die Endenergieträger werden in den Unternehmen ein weiteres Mal umgewandelt, um Nutzenergie zur Verfügung zu stellen. Nutzenergie ist definiert als der Anteil der aufgebrauchten Endenergie, der tatsächlich genutzt wird. Im Falle des Betriebs eines Elektromotors wäre der zugeführte Strom also die Endenergie und die vom Motor abgegebene mechanische Arbeit, die in der Produktion angewandt wird die Nutzenergie. Insbesondere die Verluste in der Produktion können von den Unternehmen durch den Betrieb von energieeffizienten Geräten beeinflusst werden. Es sollten also Geräte mit möglichst hohem Wirkungsgrad eingesetzt werden. Dafür können etwa folgende Empfehlungen [1], [2], [10] angeführt werden:

- LED statt Leuchtstoffröhren
- Beseitigung von Leckagen bei Druckluftsystemen
- Neue Anlagen mit höheren Jahresnutzungsgraden
- Änderung der Endenergieträger: Strom statt Brennstoffe bei mechanischer Arbeit, da Elektromotoren höhere Wirkungsgrade erreichen als Verbrennungskraftmaschinen
- Einsatz von Wärmepumpen, mit denen mehr Wärme bereitgestellt werden kann, als an Endenergie zugeführt werden muss
- Pumpen mit Drehzahlregler statt mechanischer Regelung
- Lüftungssysteme regelmäßig warten
- Kältesysteme regelmäßig warten (höherer Verbrauch durch Kühlmittelverlust)
- Dampfsysteme und Öfen isolieren
- Abwärmenutzung (z.B. von Druckluftkompressoren)

2.3.2 Reduktion des Nutzenergiebedarfs

Ein zentrales Handlungsfeld für die Klimaneutralität der Industrie bildet die Reduktion des Einsatzes an Nutzenergie bei gleichem Nutzen/Output. Im Gegensatz zur Umwandlungseffizienz geht es hierbei nicht darum, Verluste zu vermeiden, sondern den Bedarf an Energie an sich zu reduzieren. Am Beispiel der Beleuchtung ist das gut ersichtlich. Der Umstieg auf LED verringert den Stromverbrauch bei gleicher Lichtausbeute. Eine Reduktion des Nutzenergiebedarfs würde bedeuten, die Bereitstellung an Licht an sich zu verringern. Also beispielsweise durch Bewegungsmelder mit denen die Beleuchtung nur aktiviert wird, wenn sie tatsächlich benötigt wird. Dadurch wird der gleiche Nutzen (Beleuchtung im Bedarfsfall) durch weniger Nutzenergieeinsatz abgedeckt. Dieses Prinzip lässt sich auf alle genannten Arten der Nutzenergie übertragen und könnte in Zukunft weitreichende Energieeinsparungen ermöglichen, etwa durch folgende Maßnahmen [1], [2], [10]:

- Heiz-/Lüftungssysteme optimieren – Einschaltzeiten
- Wärmedämmung von Gebäuden zur Verringerung des Bedarfs an Wärmezufuhr und damit des Bedarfs an End-/ Primärenergie. Idealerweise Passivhausstandard oder sogar Energieplusgebäude.
- bedarfsgerechte Beleuchtung und Druckluft
- neue Prozesse mit geringerer Prozesstemperatur (z.B. durch den Einsatz von Katalysatoren oder neuen Ausgangsstoffen und Verfahren)
- intelligente Prozessteuerung, Auslastung optimieren (Z.B. möglichst wenige Aufwärmprozesse. Möglichst hoher Output je eingesetzter Energie)
- Einsatz von Produkten, die mit weniger Energieeinsatz den gleichen Nutzen bringen (z.B. Holz statt Beton im Bausektor)

Die Möglichkeiten zur Reduktion des Nutzenergieeinsatzes sind vielfältig, unterscheiden sich stark zwischen den verschiedenen Unternehmen und können teilweise radikal sein. Mögliche Maßnahmen können im Rahmen der Umsetzung neuer Geschäftsmodelle (wie z.B. Dematerialisierung, Product-as-a-service, etc.) entwickelt werden.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Energie- und THG-Bilanzierung vorgestellt. Einem Überblick über die Ergebnisse der Status-quo-Analyse folgen die Hauptergebnisse zu den drei modellierten Szenarien, wie die Transformation zur Klimaneutralität aus technologischer Sicht aussehen könnte.

3.1 Status-quo

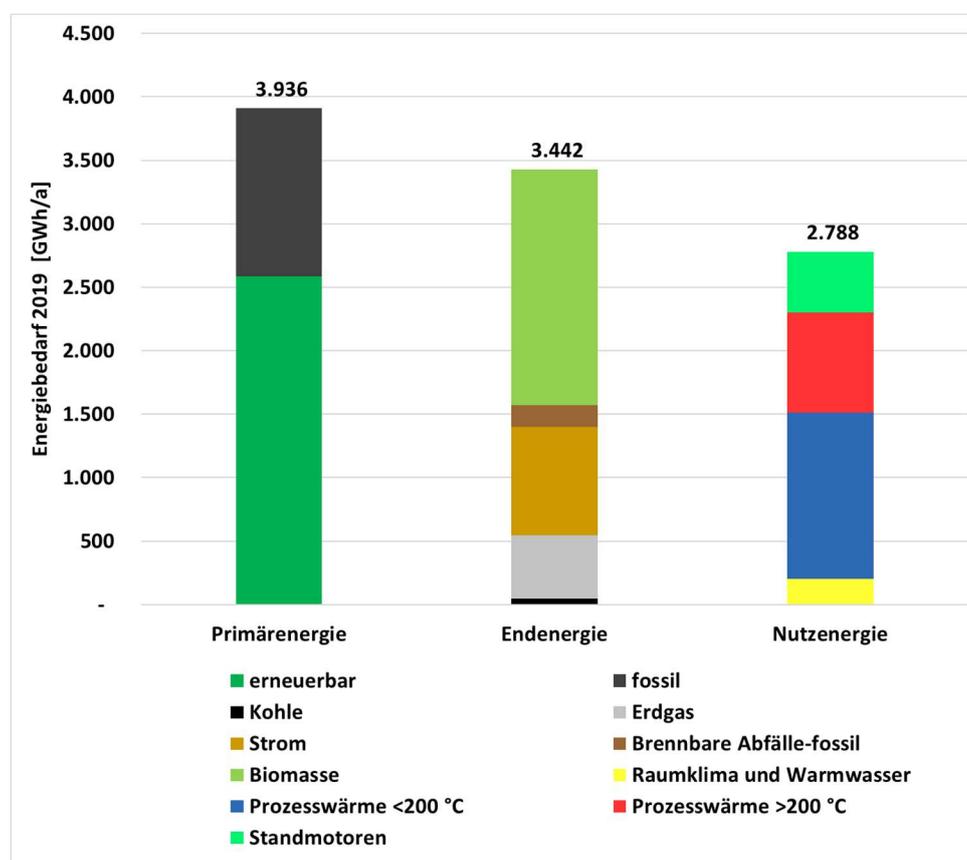


Abbildung 3: Energiebedarf ausgewählter Industriebranchen in Unterkärnten 2019. Quelle: Statistik Austria und eigene Berechnung – Kategorien kleiner als 30 GWh/a wurden nicht dargestellt.

Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass im Jahr 2019 ca. ein Drittel der Primärenergie aus fossilen Quellen stammte. Dieses Drittel gilt es weitgehend zu reduzieren, um die Klimaziele zu erreichen. Mehr als die Hälfte der Endenergie wurde durch Biomasse bereitgestellt (v.a. in der Papierindustrie). Andere wichtige Energieträger waren Strom und Erdgas. Den höchsten Nutzenergie-Verbrauch verursachte der Bedarf an Prozesswärme, gefolgt von Standmotoren und Raumwärme. Elektrochemische Prozesse spielten eine untergeordnete Rolle. Bemerkenswert sind die Verluste von Primär- zu Nutzenergie: ca. 30% der Energie ging durch Umwandlungsvorgänge von Primär- zu Nutzenergie verloren.

3.2 Entwicklung des Energiebedarfs in den verschiedenen Szenarien

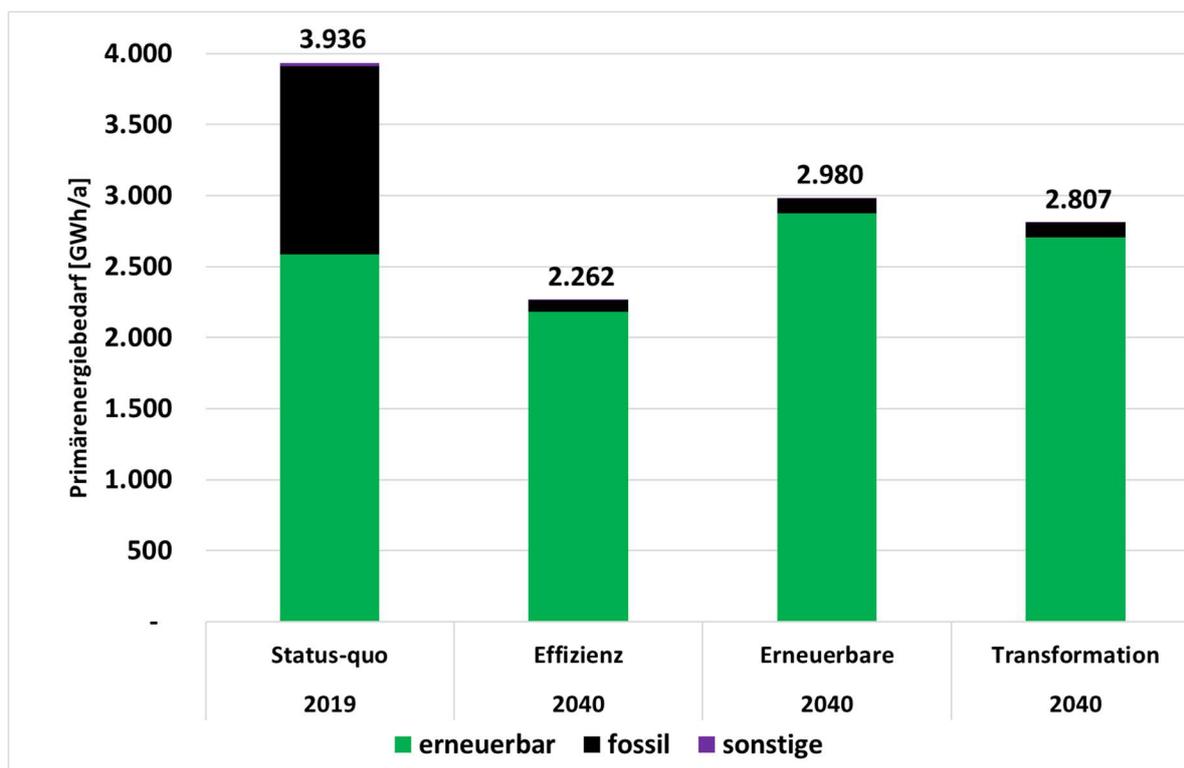


Abbildung 4: Zusammensetzung des Primärenergiebedarfs ausgewählter Unterkärntner Industriebranchen laut den verschiedenen Szenarien.

Abbildung 4 zeigt die angenommene Zusammensetzung des Primärenergiebedarfs der Unterkärntner Industrie im Jahr 2019 und in den modellierten Szenarien für das Jahr 2040. Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, wurden sämtliche fossilen Energieträger sukzessive durch Erneuerbare ersetzt. Es wurde jedoch angenommen, dass geringe fossile Restanteile – etwa in den Vorketten der erneuerbaren Energieträger oder in der Stromversorgung – nicht gänzlich vermieden werden können. Dennoch ist durch den beschriebenen Technologieumstieg und Effizienzmaßnahmen (siehe Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4) eine substantielle Reduktion des fossilen Anteils im Energiebedarf möglich.

In Abbildung 5 ist der angenommene Verbrauch an Endenergie abgebildet. Erdgas, Strom, brennbare Abfälle (fossil) und Biomasse (z.B. auch Schwarzlauge in der Papierindustrie) hatten den größten Anteil am Endenergiebedarf. Durch Reduktion des Nutzenergiebedarfs und der Umwandlungsverluste kann davon ausgegangen werden, dass sich der Bedarf an Endenergie bis 2040 ebenfalls substantiell verringern lässt. Der angenommene Mix an Endenergieträgern für 2040 setzt sich hauptsächlich aus Strom, und Biomasse (wieder hauptsächlich bedingt durch die Papierindustrie) zusammen. Als Substitut für Erdgas wurden Biomethan und erneuerbarer Wasserstoff gewählt.

Abbildung 6 zeigt den angenommenen Nutzenergiebedarf im Jahr 2019 und in den modellierten Szenarien für das Jahr 2040. Durch verschiedene Maßnahmen wurde angenommen, dass dieser insbesondere im Szenario „Effizienz“ deutlich verringert werden kann. Die angenommenen Werte für die Reduktion des Nutzenergiebedarfs sind in Tabelle 3 ersichtlich.

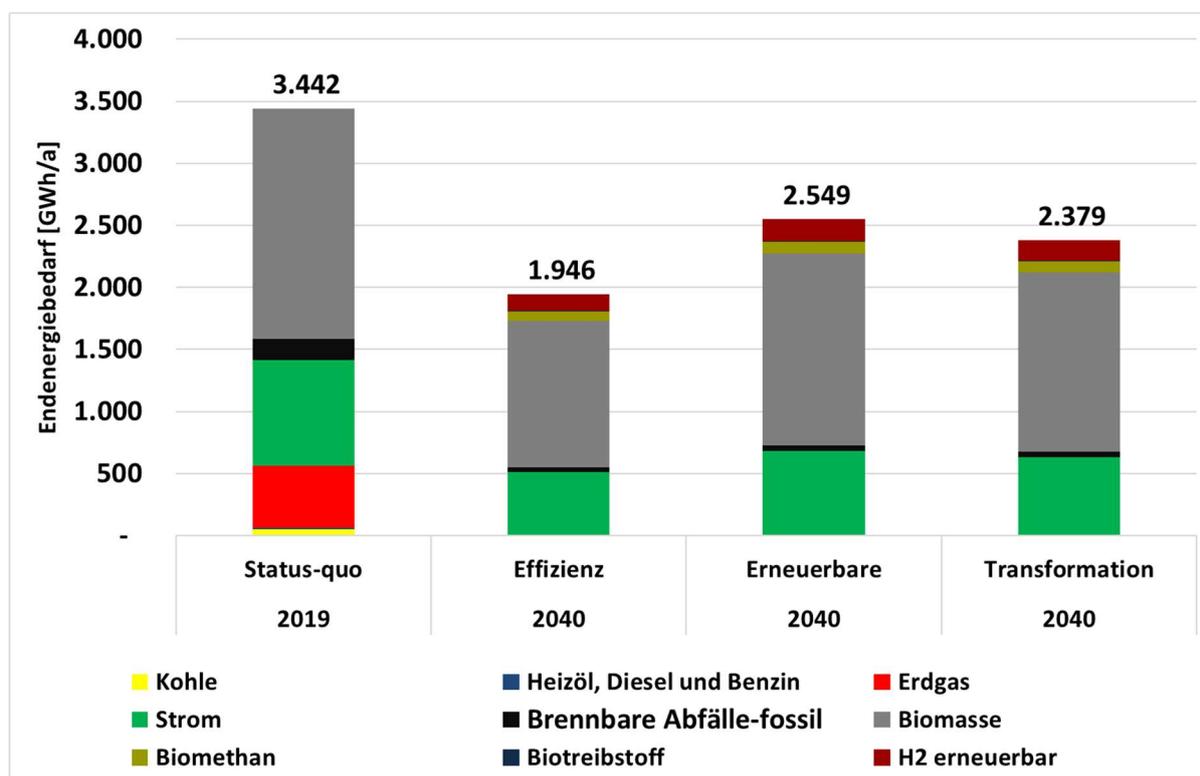


Abbildung 5: Angenommener Bedarf an Endenergie ausgewählter Unterkärntner Industriebranchen in den verschiedenen Szenarien.

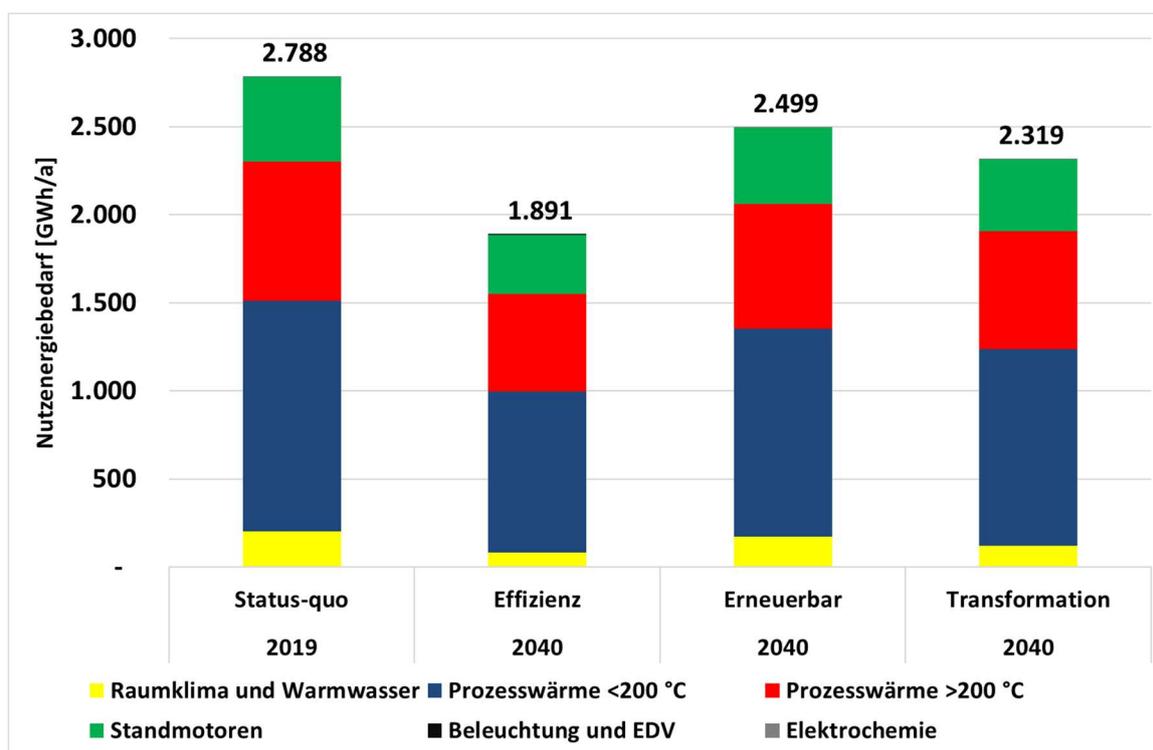


Abbildung 6: Nutzenergiebedarf ausgewählter Industriebranchen in Unterkärnten 2019, 2030 und 2040. Durch Produkt- und Prozessinnovation könnte der Nutzenergieverbrauch deutlich verringert werden. Quelle: Statistik Austria und eigene Berechnung.

3.3 Entwicklung der energiebedingten THG-Emissionen

Da das Zieljahr 2040 das Endjahr der Analyse darstellt werden im folgenden Diagramm die energiebedingten THG-Emissionen von 2019 mit den für 2040 errechneten verglichen.

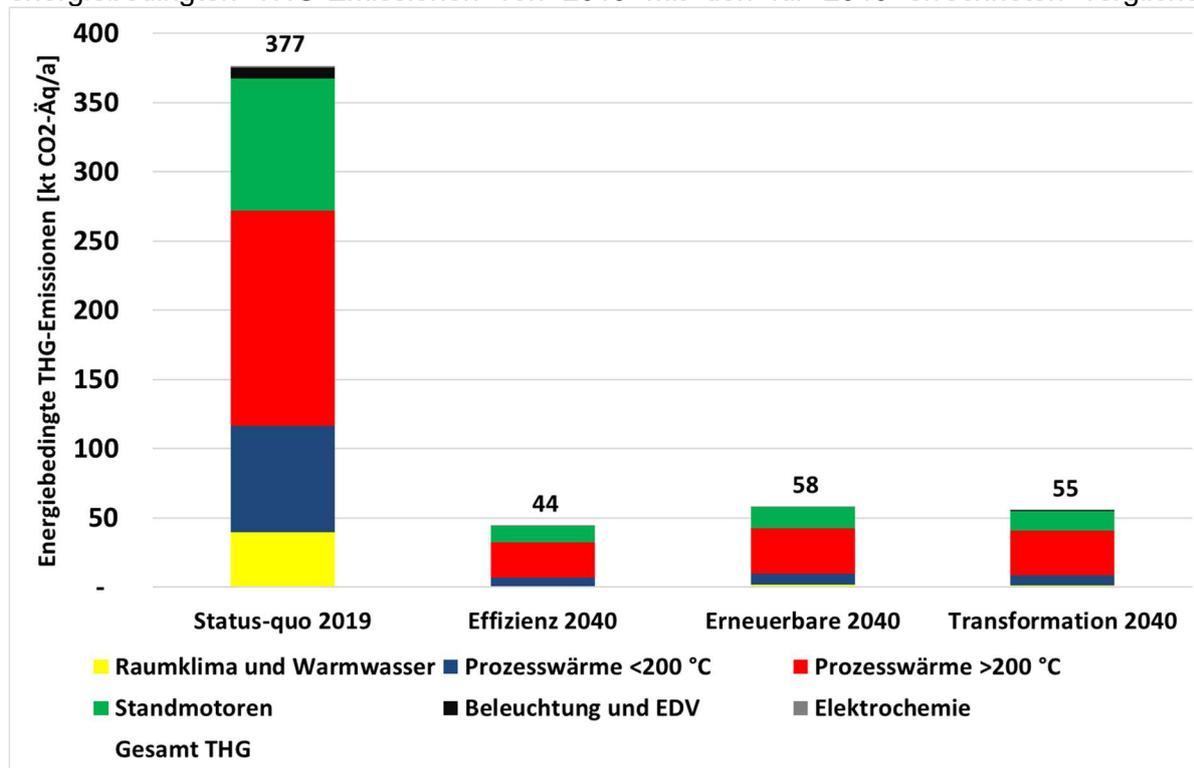


Abbildung 7: Energiebedingte THG-Emissionen der betrachteten Industriebranchen in Unterkärnten nach Nutzenergiekategorien. Quelle: Statistik Austria und eigene Berechnung.

Abbildung 7 zeigt die energiebedingten THG-Emissionen nach den sie verursachenden Nutzenergiekategorien. Im Jahr 2019 entfielen die meisten Emissionen in der gesamten Bereitstellungskette der Endenergieträger auf die Prozesswärme über 200°C, gefolgt von Standmotoren, Prozesswärme unter 200°C und Raumklima/Warmwasser. In den angenommenen Szenarien lassen sich die energiebedingten THG-Emissionen – selbst ohne Carbon Capture – durch verschiedene Maßnahmen bis 2040 um rund 85% verringern. Durch den höheren Anteil an erneuerbarer Energie im Strommix verbessern sich die Emissionen für den Betrieb von Standmotoren deutlich. Durch den Umstieg auf erneuerbare Gase können auch die Emissionen für die Bereitstellung von Prozesswärme über 200°C signifikant reduziert werden. Die Elektrifizierung der Prozesswärme unter 200°C (zumeist realisiert in Verbindung mit Wärmepumpe) erlaubt eine deutliche Verminderung der damit verbundenen Emissionen. Durch Dämmung und fortschrittliche Heizsysteme auf Basis von Wärmepumpentechnologie können die Emissionen für Raumwärme/Warmwasser beinahe auf null gesenkt werden.

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Das Modell zeigt, dass der Reduktion des Nutzenergiebedarfes (z.B. durch Wärmedämmung von Gebäuden oder Industrieöfen), aber auch der Steigerung der Umwandlungseffizienz (insbesondere in der Prozesswärme) eine zentrale Rolle bei der Erreichung der Klimaziele zukommt. Insbesondere zeigt sich, dass im Szenario Effizienz über 30 % der Nutzenergie eingespart werden könnten. Im Jahr 2019 betrug die energetischen Verluste von der Primär-

zur Nutzenergie mehr als 30%. Diese Verluste gilt es zu verringern und in Form von z.B. Abwärme zu nutzen. Möglicherweise wurde der Reduktion des Nutzenergiebedarfs bisher zu wenig Aufmerksamkeit zuteil. Durch Prozess- und Produktinnovation könnten in Zukunft deutlich höhere Energieeinsparungen erreicht werden als in bisherigen Modellen angenommen (wie z.B. in [1], [2]).

Eine weitere Schlussfolgerung aus dem Modell ist der Bedarf an Technologien um verbleibenden THG-Emissionen zu kompensieren. Abhängig vom Industriesektor könnten verschiedene Technologien eine Rolle spielen. Wo hohe THG-Konzentrationen auftreten, wie etwa in der Papier- und Zementindustrie, könnte eine Sequestrierung aus dem Abgasstrom mittels Aminwäsche eine Rolle spielen. Das aufgefangene CO₂ könnte zur Herstellung von synthetischen Treibstoffen oder Polymeren genutzt werden oder in geologischen Formationen gespeichert werden.[11], [12] Auch der Ausgleich von Restemissionen durch Aufforstung könnte eine Rolle spielen. Durch die limitierten technologischen und biologischen CO₂-Senken sollte die weitest gehende Reduktion von THG-Emissionen im Fokus stehen.[13]

4.1 Einschränkungen

Für die beschriebenen Szenarien können mehrere Einschränkungen genannt werden, die die Aussagekraft der Ergebnisse limitieren. Generell kann bemerkt werden, dass viele Daten nicht in der nötigen regionalen Auflösung verfügbar waren und aus Ressourcengründen nur wenige Daten zu den in der Region eingesetzten Prozessen und Materialströmen erhoben wurden. Im Rahmen einer Umfrage, an der 50 Unternehmen aus der Region teilnahmen, wurden im Sinne eines Validierungsschrittes die wichtigsten Annahmen zu den erzeugten Produkten und angewandten Produktionsverfahren kritisch hinterfragt.

4.1.1 Eingeschränkte regionale Daten

Die Daten zum Endenergiebedarf waren – wie im Methodenteil beschrieben – lediglich für das gesamte Bundesland Kärnten verfügbar. Mit der Herabskalierung auf die Region Unterkärnten geht daher ein Unsicherheitsfaktor einher und es ist nicht auszuschließen, dass die Energieverbräuche einzelner Branchen über-/ bzw. unterschätzt wurden. Eine weitere Einschränkung betrifft die in der Zielregion verwendeten Technologien. Welcher Stand der Technik in den Unternehmen angewandt wird und welche Verbesserungen noch umgesetzt werden können sollte in weiteren Projekten erforscht werden. Dies betrifft etwa auch bereits gesetzte Maßnahmen zur Steigerung der Umwandlungseffizienz und Potentiale zur Reduktion des Nutzenergiebedarfs.

4.1.2 Unsicherheiten in der Modellierung

Die Modellierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen THG-Emissionen war ebenfalls mit Unsicherheiten verbunden. Insbesondere die zeitliche Einführung der erneuerbaren Energieträger und stütze sich auf wissenschaftliche Literatur und politische Strategiedokumente, um die Verfügbarkeit von z.B. erneuerbarem Wasserstoff als Energieträger abzuschätzen. Ob die angenommenen Zeithorizonte aber in der Form tatsächlich realistisch sind, kann hier nicht abschließend beurteilt werden. Dies betrifft auch die Annahmen zur möglichen Effizienzsteigerung in den verschiedenen Nutzenergiekategorien und Branchen, die in erster Linie auf Experteneinschätzungen beruhen. Durch bereit umgesetzte Maßnahmen könnten die tatsächlichen Potentiale kleiner

sein als in dieser Studie angenommen. Außerdem konnten bestimmte Rahmenbedingungen aus Zeitgründen nicht näher betrachtet werden, wie etwa Annahmen betreffend der Umrüstbarkeit der Produktionsanlagen auf alternative Energieträger und damit einhergehende Fragen wie die Verfügbarkeit der Energieträger (etwa Konkurrenz verschiedener Sektoren um Ressourcen) und etwaige Speicherlösungen (z.B. saisonale Schwankungen der erneuerbaren Energieträger). Ein weiterer wesentlicher Unsicherheitsfaktor ist das in Zukunft zu erwartende Wachstum der Industriebranchen. Es war nicht möglich festzustellen, welche Produkte in der Zielregion hergestellt werden und ob diese zukunftsfähig sind. Einerseits auf Grund mangelnder Information zu den Produkten, andererseits in Ermangelung eines anwendbaren Bewertungsschemas für die Zukunftsfähigkeit der Produkte. Gerade exportorientierte Unternehmen könnten nicht nachhaltige Produkte unter Umständen weitaus länger gewinnbringend produzieren als Hersteller mit europäischem Fokus. Auf Grund der Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung wurde in den Szenarien darauf verzichtet ein mögliches physisches Industriewachstum anzunehmen. In diesem Zusammenhang sind außerdem die verschiedenen Krisen der Jahre 2019-2023 sowie eine mögliche Dematerialisierung der Wirtschaft zu nennen, die einen Ausblick schwierig machen. Der Einbruch im Energieverbrauch 2020 wurde in der Analyse ebenfalls nicht berücksichtigt, da zum Zeitpunkt der Modellerstellung die Energieverbrauchsdaten für 2020 noch nicht vorlagen.

5 Conclusio

Der Umbau des derzeit Großteils fossil basierten Energiesystems wird den Ausbau von erneuerbaren Energieträgern notwendig machen. Um den Mehrbedarf an zusätzlicher Infrastruktur und negative Auswirkungen auf die Umwelt möglichst gering zu halten, sollte der Bedarf an Energie wo möglich reduziert werden. Diese Studie gibt Hinweise darauf, dass durch intelligenten Energieeinsatz der Bedarf an Nutzenergie deutlich reduziert werden könnte. Je geringer der Bedarf an Nutzenergie, desto geringer ist auch der Bedarf an End- und letztlich Primärenergie.

Das Modell legt am Beispiel Unterkärnten im Szenario „Effizienz“ nahe, dass ein weitreichender Ausbau zusätzlicher erneuerbarer Energie (siehe Abbildung 4) zum Zweck der Dekarbonisierung bestimmter Industriezweige vermieden werden kann, sofern innovative Konzepte zur Reduktion des Nutzenergiebedarfs entwickelt und umgesetzt werden und gleichzeitig die Umwandlungseffizienz verbessert wird. Das Modell zeigt über alle Szenarien hinweg, dass die Umstellung auf erneuerbare Energieträger eine zentrale Notwendigkeit ist, um die Klimaziele zu erreichen. Auch das Wirtschaftswachstum zeigte sich als ein wesentlicher Modellparameter. Wird ein Wirtschaftswachstum von 1,5% p.a. und ein um denselben Faktor erhöhter Material- und Energiebedarf angenommen, so erhöht sich der erneuerbare Primärenergiebedarf der Unterkärntner Industrie von 2019 bis 2050 je nach Szenario um 10-32%.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für die Erreichung der Klimaziele umfassende Änderungen in der Energiebereitstellung (Umstellung auf erneuerbare Energieträger) und im Energieverbrauch (Reduktion des Nutzenergiebedarfs und der Umwandlungseffizienz) notwendig sind. Zudem müssen Maßnahmen zur Neutralstellung von schwer zu vermeidenden Rest-THG-Emissionen getroffen werden.

Förderhinweis

Das LOCA2Transformation-Projekt (LOWCarbon LOWerCarinthia TRANSformation) wird aus Mitteln des EFRE Europäischen Fonds für regionale Entwicklung sowie aus den zusätzlichen Mitteln von REACT-EU kofinanziert und über den KWF abgewickelt.



Literatur

- [1] R. Geyer, S. Knöttner, C. Diendorfer, und G. Drexler-Schmid, „Energieinfrastruktur für 100 % Erneuerbare Energie in der Industrie“, 2019.
- [2] C. Diendorfer *u. a.*, „Klimaneutralität Österreichs bis 2040. Beitrag der österreichischen Industrie“, 2021.
- [3] Martin Baumann, Karin Fazeni-Fraisl, Thomas Kienberger, und Peter Nagovnak, „Erneuerbares Gas in Österreich 2040. Quantitative Abschätzung von Nachfrage und Angebot Endbericht“, 2021. Zugriffen: 13. Juli 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:2486be49-85cd-41d6-b2af-a6538757e5cd/Erneuerbares-Gas-2040.pdf>
- [4] V. Alton *u. a.*, „Pathway to industrial Decarbonisation -- Scenarios for the Development of the Industrial Sector in Austria“, 2022, Zugriffen: 31. Jänner 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.nefi.at/files/media/Pdfs/NEFI_Szenarienbericht_v15_WHY_Design.pdf
- [5] „Strategische Handlungsoptionen für eine österreichische Gasversorgung ohne Importe aus Russland“, Wien, 2022. [Online]. Verfügbar unter: www.energyagency.at
- [6] Bundesministerium für Klimaschutz, „Wasserstoffstrategie für Österreich“, Wien, 2022.
- [7] „Eine Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa“, Brüssel, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eu2018.at/de/calendar-events/political->
- [8] Statistik Austria, „Nutzenergieanalyse“. STATISTIK AUSTRIA, 2022.
- [9] „GEMIS 4.9.3“. <https://www.umweltbundesamt.at/angebot/leistungen/angebot-cfp/gemis> (zugriffen 13. Juli 2022).
- [10] „Klimaaktiv für Unternehmen“, <https://www.klimaaktiv.at/unternehmen.html>.
- [11] R. Friedle, C. Dankl, J. Juhart, K. Bergmeister, und M. Menge, „5. Grazer Betonkolloquium“, 2022.
- [12] S. Spaun, C. Bauer, C. Dankl, R. Friedle, und F. Papsch, „Wie Was Wann - Roadmap zur CO2-Neutralität der österreichischen Zementindustrie bis 2050“, Wien, 2022.
- [13] G. Luderer, C. Kost, und D. Sörgel, Hrsg., *Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045*. Potsdam, 2021. doi: 10.48485/pik.2021.006.
- [14] J. Ranganathan *u. a.*, „The Greenhouse Gas Protocol - -A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition“, 2004.

6 Technischer Anhang

Tabelle 2: Technologieoptionen für die Umstellung auf Erneuerbare Energieträger.

Energieträger 2019	Einsatzzweck	Alternative für Transformationspfad
Kohle	Prozesswärme >200 °C	Biomasse-Holz
Diesel/Benzin	Standmotoren	Biodiesel/Bioethanol
Heizöl/Gasöl Raumtemperatur	Raumtemperatur und Warmwasser	85% bzw. 70% Wärmepumpe COP 3,5 und 15% bzw. 30% Solarthermie
Heizöl/Gasöl Prozesswärme < 200°	Prozesswärme <200 °C	85% bzw. 80% Wärmepumpe COP 2,3 und 15% bzw. 20% Solarthermie
Heizöl/Gasöl Prozesswärme > 200°	Prozesswärme >200 °C	Hackschnitzel
Flüssiggas/Erdgas	Raumtemperatur und Warmwasser	85% bzw. 70% Wärmepumpe COP 3,5 und 15% bzw. 30% Solarthermie
Flüssiggas/Erdgas	Prozesswärme <200 °C	85% bzw. 80% Wärmepumpe COP 2,3 und 15% bzw. 20% Solarthermie
Flüssiggas/Erdgas	Prozesswärme >200 °C	67% H ₂ , 33% Biomethan
Flüssiggas/Erdgas	Standmotoren	Strom
Erdgas	Beleuchtung und EDV	Strom
Brennbare Abfälle	Raumtemperatur und Warmwasser	85% bzw. 70% Wärmepumpe COP 3,5 und 15% bzw. 30% Solarthermie
Brennbare Abfälle	Prozesswärme <200 °C	85% bzw. 80% Wärmepumpe COP 2,3 und 15% bzw. 20% Solarthermie
Brennbare Abfälle	Prozesswärme >200 °C	50% H ₂ , 50% Biomethan; keine vollständige Substitution

Tabelle 3: In den drei Szenarien angenommene Reduktion des Nutzenergiebedarfs durch Prozess- und Produktinnovation.

	Reduktion des Nutzenergie- bedarfs von 2019-2040	Raum- klima und Warm- wasser [%]	Prozess- wärme <200 °C [%]	Prozess- wärme >200 °C [%]	Stand- motoren [%]	Beleuch- tung und EDV [%]	Elektro- chemie [%]
Szenarien	Effizienz	60	30	30	30	40	10
	Erneuerbare	15	10	10	10	12,5	5
	Transformation	40	15	15	15	20	10

Tabelle 4: Angenommene Jahresnutzungsgrade von End- zu Nutzenergie für die Jahre 2019 und 2050 im Szenario Effizienz. Die Werte für die Zwischenjahre wurden einer S-Funktion folgend bestimmt.

Jahresnutzungsgrade von Endenergie in Nutzenergie im Szenario „Effizienz“							
2019		Raumklima und Warm- wasser	Prozess- wärme <200 °C	Prozess- wärme >200 °C	Stand- motoren	Beleuch- tung und EDV	Elektro- chemie
2019	Steinkohle	0,65	0,80	0,78			
2019	Braunkohle	0,65	0,80	0,78			
2019	Heizöl	0,80	0,85	0,83			
2019	Gasöl	0,80	0,85	0,83			
2019	Diesel				0,30		
2019	Benzin				0,30		
2019	Flüssiggas	0,82	0,87	0,85	0,30		
2019	Erdgas	0,85	0,90	0,88	0,30	0,01	
2019	Strom Mix	0,98	0,98	0,96	0,80	0,05	0,65
2019	Fernwärme	0,98	0,98	0,98			
2019	Biomasse Papierind.	0,78	0,80	0,80	0,30		
2019	Brennbare Abfälle	0,78	0,75	0,73			
2019	Biogene Brenn- und Treibstoffe	0,78	0,80	0,80	0,30		
2019	Zus. Strom- bedarf WP COP 3,5	3,00	3,00	3,00			
2019	Zus. Strom- bedarf WP COP 2,3	2,00	2,00	2,00			
2019	Biodiesel - FAME				0,30		
2019	Bioethanol - EtOH				0,30		
2019	Biogas - CRG	0,85	0,90	0,88	0,30		
2019	Solar- thermie	33,00	33,00				
2019	H2 ee	0,85	0,90	0,88	0,30		

2050		Raumklima und Warm- wasser	Prozess- wärme <200 °C	Prozess- wärme >200 °C	Stand- motoren	Beleuch- tung und EDV	Elektro- chemie
2050	Steinkohle	0,65	0,80	0,78	-	-	-
2050	Braunkohle	0,65	0,80	0,78	-	-	-
2050	Heizöl	0,90	0,90	0,87	-	-	-
2050	Gasöl	0,90	0,90	0,87	-	-	-
2050	Diesel	-	-	-	0,40	0	0
2050	Benzin	-	-	-	0,40	0	0
2050	Flüssiggas	0,92	0,92	0,89	0,4	0	0
2050	Erdgas	0,95	0,95	0,93	0,40	-	0
2050	Strom Mix	0,99	0,99	0,98	0,98	0,70	0,75
2050	Fernwärme	0,98	0,98	0,98	0	0	0
2050	Biomasse Papierind.	0,90	0,90	0,90	0,4	0	0
2050	Brennbare Abfälle	0,85	0,85	0,85	0,4	0	0
2050	Biogene Brenn- und Treibstoffe	0,90	0,90	0,87	0,4	0	0
2050	Zus. Strom- bedarf WP COP 3,5	4,00	4	4	0	0	0
2050	Zus. Strom- bedarf WP COP 2,3	3,00	3,00	3,00	0	0	0
2050	Biodiesel - FAME	0	0	0	0,40	0	0
2050	Bioethanol - EtOH	0	0	0	0,40	0	0
2050	Biogas - CRG	0,95	0,95	0,93	0,40	0	0
2050	Solar- thermie	33,00	33,00	-	-	-	-
2050	H2 ee	0,95	0,95	0,93	0,40	0	0