



Energie-Ziel-Szenarien Tirol

2050 und 2040

mit Zwischenzielen 2030

Energie-Zielszenario Tirol 2050 und 2040 mit Zwischenziel 2030

– Endbericht –
September 2021

Autorinnen und Autoren:

DI Rupert Ebenbichler, Wasser Tirol - Ressourcenmanagement-GmbH

Dr. Andreas Hertl, Wasser Tirol - Ressourcenmanagement-GmbH

Prof. Dr. Angela Hofmann, Management Center Innsbruck; Umwelt-, Verfahrens- und Energietechnik

Prof. Dr. Wolfgang Streicher, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen

Prof. Dr. Markus Mailer, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Intelligente VERKEHRSSysteme

Dott. Mag. Alice Tosatto, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen

DI Inga Anton, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme

Felix Reith, B.Sc., Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme

Nina Schaaf, Management Center Innsbruck; Umwelt-, Verfahrens- und Energietechnik

Sandra Rzehak, Management Center Innsbruck; Umwelt-, Verfahrens- und Energietechnik

Fabian Ochs, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen



Projektdaten:

Kurztitel	Energie-Szenarien Tirol 2050 und 2040
Langtitel	Aufbauend auf der Studie „Ressourcen- und Technologie-Einsatzszenarien Tirol 2050“ aus dem Jahr 2018 werden im Rahmen der gegenständlichen Studie die in Tirol zur Verfügung stehenden nutzbaren heimischen Energiere Ressourcen aufgezeigt sowie die in den Jahren 2050 bzw. 2040 benötigte Nutzenergie in den Sektoren Mobilität, Produktion und Sonstiges abgeschätzt. Für die Deckung des zukünftigen Energiebedarfs werden zwei Szenarien mit Zwischenzielen 2030 erstellt und die Energieflüsse auf verschiedenen Energieebenen dargestellt. Ein Szenario verfolgt das Ziel einer im Jahressaldo betrachteten Energieautonomie bis zum Jahr 2050 in Anlehnung an die Energieziele Tirols, das zweite eine ebenso verstandene Energieautonomie bis zum Jahr 2040 in Anlehnung an das Klimaneutralitäts-Ziel der Bundesregierung. Im Vergleich zur o.g. Studie des Jahres 2018 wurden nochmals alle Annahmen und berücksichtigten Rahmenbedingungen überprüft, gegebenenfalls adaptiert sowie weitere Umwandlungstechnologien berücksichtigt. Das Studienergebnis gibt somit eine wichtige Entscheidungshilfe für den weiteren energie-strategischen Weg des Landes Tirol.
Auftraggeber	 Amt der Tiroler Landesregierung Abteilung Wasser-, Forst- und Energierecht Heiliggeiststr. 7 6020 Innsbruck
Auftragnehmer	 Wasser Tirol - Ressourcenmanagement-GmbH Leopoldstr. 3, 6020 Innsbruck  Universität Innsbruck Techniker Str. 13, 6020 Innsbruck Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen Institut für Infrastruktur Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme  Management Center Innsbruck Umwelt-, Verfahrens- und Energietechnik Universitätsstr. 15, 6020 Innsbruck
Projektzeitraum	03/2020 – 02/2021



Vorwort



© Land Tirol / Berger

Energiepolitik ist Klimapolitik und ohne Energiewende gibt es keinen Klimaschutz. Das war der Tiroler Landesregierung schon früh bewusst, weshalb wir bereits im Jahr 2014 – also noch vor dem Pariser Klimaabkommen – das Ziel der Energieautonomie 2050 formuliert haben. Das heißt: Wir wollen, müssen und werden unseren Energiebedarf soweit senken, dass wir in der Lage sind, die notwendige Energie im Saldo selbst aus erneuerbaren, heimischen Energieträgern zu erzeugen. Der aktuelle Bericht des Weltklimarats bestärkt uns in diesem Vorhaben und zeigt einmal mehr die Dringlichkeit auf.

Mit der nun vorliegenden Studie „Energie-Ziel-Szenarien“ haben wir die Zielvorgaben für den Umbau des Energiesystems als Ganzes, aber auch für einzelne Bereiche und Zeitabschnitte definiert. Aber vieles, was notwendig ist, um die Energiewende zu erreichen, liegt nicht in der Kompetenz des Landes Tirol. Die Energiewende schaffen wir nur alle gemeinsam – EU, Bund, Länder und die gesamte Bevölkerung.

Auch wenn wir alle den Weg in die erneuerbare Energiezukunft und damit zum Klimaschutz gemeinsam gehen, ist und bleibt die Erreichung dieser Ziele eine enorme Herausforderung. Aber es ist machbar – wie, zeigt diese Studie. Ohne das Zutun und die tatkräftige Unterstützung der Bevölkerung wird es aber nicht gehen, gerade auch was den Ausbau der Photovoltaik anlangt.

Tirol ist ein reiches Land. Wir können den Anteil von derzeit 43 Prozent erneuerbarer Energie auf 100 Prozent steigern. Und wir können damit nicht nur das Klima schützen, sondern auch bis zu zwei Milliarden Euro, die wir derzeit jährlich für den Import von Öl und Gas ausgeben, an Wertschöpfung zurück nach Tirol holen.

Mit der Energieautonomie 2050 geht Tirol noch einen Schritt weiter als der Bund mit der Klimaneutralität 2040. Wir richten unsere Energiepolitik darauf aus, dass wir keine Nettoimporteure erneuerbarer Energie sind und auch keine Kompensationszahlungen für fossile Energie leisten. Erst wenn wir das geschafft haben, gehen wir über die Ziellinie.

Den StudienautorInnen und allen Stakeholdern, die an dieser Studie mitgearbeitet, Daten geliefert, gesammelt und interpretiert sowie Ergebnisse kritisch hinterfragt haben, möchte ich ganz herzlich danken. Wenigstens alle fünf Jahre werden wir überprüfen, ob unsere Bemühungen ausreichend und die Rahmenbedingungen geeignet

waren, um die Zielvorgaben zu erreichen. Wenn nicht, werden wir dort, wo wir als Land Tirol die Kompetenz haben, entsprechend nachschärfen.

A handwritten signature in blue ink, reading "Josef Geisler".

Josef Geisler

Landeshauptmann-Stellvertreter

Innsbruck, im September 2021

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Abstract	11
2 Prämissen	13
3 Veranlassung und Ziele.....	14
4 Projektkonsortium und Beirat	16
5 Projektmeilensteine	17
6 Begriffsbestimmungen und Methodik	18
6.1 Systemverständnis und Systemgrenze	18
6.2 Energiestufen.....	19
6.3 Energiepotenziale	20
7 Datengrundlagen	22
7.1 Sektorübergreifende Datengrundlagen.....	22
7.2 Sektor Mobilität.....	22
7.3 Sektor Produktion	22
7.4 Sektor Sonstige / Gebäude	23
7.5 Energieressourcen	23
8 Energetisch nutzbares Potenzial – Dargebot	24
8.1 Wasserkraft.....	24
8.2 Sonne	26
8.3 Biomasse	29
8.4 Umweltwärme (Grundwasser, Erde, Luft)	33
8.5 Tiefengeothermie	34
8.6 Wind.....	34
8.7 Industrielle Abwärme	34
8.8 Abfälle.....	35
8.9 Überblick Energetisch nutzbares Potenzial 2050	36
9 Wirkungsgrade und Verluste auf Ebene der Sekundärenergie.....	37
9.1 Wirkungsgrade in der Erzeugung / Ebene Sekundärenergie	37
9.2 Leitungs- und Verteilverluste.....	42
10 Szenario 2050: Energiebedarf und Energiebedarfsdeckung	43
10.1 Sektor Mobilität.....	43
10.2 Sektor Produktion	51
10.3 Sektor Sonstige / Gebäude	58
10.4 Ergebnisse Szenario 2050	71
11 Szenario 2040: Energiebedarf und Energiebedarfsdeckung	83
11.1 Sektor Mobilität.....	83
11.2 Sektor Produktion	87
11.3 Sektor Sonstige / Gebäude	89
11.4 Ergebnisse Szenario 2040	92

12 Kernaussagen.....	99
13 Übergeordnete Zielsetzungen / Empfehlungen	106
14 Flussbilder	108
14.1 Szenario 2050.....	108
14.2 Szenario 2040.....	113
15 Abbildungsverzeichnis	119
16 Tabellenverzeichnis	120
17 Literaturverzeichnis	122
18 Anhang.....	125
18.1 Energieträgerverteilung Gebäude	125
18.2 Sanierungsrate und Austauschrate Gebäude – Szenario 2050.....	143
18.3 Sanierungsrate und Austauschrate Gebäude – Szenario 2040.....	147
18.4 Mobilität	151

1 ABSTRACT

Die vorliegende Studie „Energieszenarien Tirol 2050 und 2040“ zeigt erstmalig unter Berücksichtigung der Landes-spezifika auf, wie eine Energieautonomie des Landes unter bestimmten Rahmenbedingungen unter Einsatz welcher Ressourcen und unter Rückgriff auf welche Technologien erfolgen kann. Sie umfasst dabei zwei Szenarien – im **Szenario 2050** wird die **Energieautonomie** in Übereinstimmung mit der Energiestrategie des Landes bis zum Jahr 2050 verfolgt, im **Szenario 2040** wird diese in Übereinstimmung mit der Zielsetzung einer **Klimaneutralität** der Bundesregierung bis zum Jahr 2040 verfolgt.

Die Studie baut dabei auf den Ergebnissen der Untersuchung aus dem Jahr 2018 – “Ressourcen- und Technologie-einsatz-Szenarien Tirol 2050” (EBENBICHLER et al. 2018) – auf, wobei Adaptionen in den berücksichtigten Umwandlungstechnologien (z.B. Holzvergasung) sowie auch der Quantität eingesetzter Energieträger (z.B. Holz) durchgeführt wurden und ergänzend ein jeweiliger **Zielwert für das Jahr 2030** definiert wurde.

Die Betrachtung des **Szenarios 2050** zeigt, dass eine Energieautonomie innerhalb der nächsten 30 Jahre mit den hinterlegten Annahmen **gerade noch realistisch darstellbar erscheint**, wobei notwendige **tiefgreifende Änderungen** im Energiesystem – sowohl Substitutions- als auch Energieeffizienzsteigerungsmaßnahmen – **umgehend angegangen** werden müssen. Bei einer angenommenen Steigerung des Wirtschaftswachstums sowie der Bevölkerungszahl ergibt sich durch Effizienzsteigerung aufgrund Technologiewechsel eine **Reduktion** des Nutzenergiebedarfs gegenüber heute um rund 12 % sowie des **Endenergieeinsatzes um rund 37 %**. Aufgrund des Ersatzes derzeit eingesetzter fossiler Energieträger durch erneuerbare heimische Energieträger **steigt die Menge eingesetzter Erneuerbarer Energie** bis zum Jahr 2050 um **rund 73 %** gegenüber „heute“, wobei **alle Energieträger** benötigt werden, wenn auch teils anders eingesetzt als heute. Die starke Steigerung des notwendigen Rückgriffs auf heimische Energieträger kann nur auf einem **massiven Ausbau im Anlagenbestand** zur Nutzung der heimischen Energieresourcen basieren. Eine grobe Schätzung geht davon aus, dass zusätzlich zu den heute bestehenden Anlagen bis zum Jahr 2050 **rund 110.000 PV-Anlagen** sowie **mehr als 80.000 Wärmepumpenanlagen** zur Nutzung der Umweltwärme zu errichten sind. Parallel hierzu ist die **Wasserkraft** um rund 2.800 GWh auszubauen, **Wärmenetze** sind zu verdichten bzw. weitere Wärmenetze zu erstellen und Anlagen zur **Erzeugung synthetischer Gase** (H₂ und CH₄) Energiesystem zu etablieren – ebenso einige **Windkraftanlagen**.

Die Ergebnisse der Untersuchung des **Szenarios 2040** zeigt, dass die **Herausforderungen und Anstrengungen nochmals wesentlich höher** anzusehen sind als im Szenario 2050. Es zeigt sich, dass eine Energiebedarfsdeckung rein auf Basis der verfügbaren heimischen Erneuerbaren Energieträger aufgrund der notwendigen Geschwindigkeit in der Umstellung der eingesetzten Technologien **kaum als realistisch zu beurteilen** ist. Als Umsetzungszeitraum verbleiben gerade noch 20 Jahre, in denen die maßgeblich notwendigen Anpassungen nicht als realistisch umsetzbar erachtet werden. Diesbezüglich sei z.B. auf die Fahrzeugproduktions-, -verkaufs- und -nutzungszyklen verwiesen oder auch die notwendige Rate zur Umsetzung einer vollständigen hochwertigen Sanierung des Gebäudebestands. Letztere ist auch der Grund dafür, dass im dargelegten Szenario 2040 die **Energiebedarfe** trotz geringerem Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum (Betrachtungszeitraum 20 statt 30 Jahre) **höher ausfallen als im Szenario 2050**. Der Nutzenergiebedarf **reduziert** sich gemäß Berechnung bis 2040 um 11 % gegenüber dem Wert des Jahres 2016 und der des **Endenergieeinsatzes um 36 %**. Die **eingesetzte Energiemenge** aus erneuerbaren,

heimischen Energieressourcen steigt gegenüber 2016 mit **rund 77 %** stärker als im Szenario 2050. Der Energie-Mehrbedarf des Zieljahrs zeigt sich in einem **Mehrbedarf an Wärmepumpen** zur Nutzung von Umweltwärme von **rund 3.700 Anlagen** sowie **zusätzlich notwendigen Fernwärmeanlagen** bzw. weiterer Netzerweiterungen bestehender Anlagen. Der grob ermittelte **notwendige Anlagenpark** im Jahr 2030 des Szenarios 2040 zeigt bei nahezu allen Energieträgern einen **deutlich stärkeren notwendigen Zubau**, v.a. jedoch in den Bereichen Photovoltaik und Umweltwärme, aber auch bei Power-to-Gas-Anlagen zur Gewinnung synthetischer Gase und im Bereich Biokohle.

Auch bei größtmöglicher Anstrengung in allen Bereichen ist realistischer Weise davon auszugehen, dass im Jahr **2040 noch fossile Energieträger** zur Deckung des Bedarfs notwendig sein werden, da Energieeffizienzsteigerungs- und Substitutions-Maßnahmen in den kommenden 20 Jahren nicht in ausreichendem Umfang durchgeführt werden (können). Dies wird mit hoher Wahrscheinlichkeit v.a. den Mobilitätssektor betreffen, aber auch die Wärmebereitstellung in Gebäuden. Im Sinne der Erreichung einer von der Bundesregierung angestrebten **Klimaneutralität** (s.o.) ist daher davon auszugehen, dass **noch benötigte fossile Energieträger** dann entweder durch **Importe entsprechend geeigneter Erneuerbarer** Energieträger zu ersetzen oder aber **im Zuge des Zertifikatshandels (ETS)** auszugleichen sind.

2 PRÄMISSEN

Basis: „Ressourcen und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“

Die gegenständliche Studie „Zielszenario 2050/2040 – Unser Weg nach Tirol energieautonom“ basiert auf den **Datengrundlagen und gesetzten Annahmen** der Studie „**Ressourcen und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050**“ (EBENBICHLER et al. 2018) des Jahres 2018. Als „Startjahr“ der Betrachtung wurde damals mit Projektbeginn August 2017 das Jahr 2016 – das Jahr, für das die aktuellen Bundesländerbilanzdaten vorlagen – gewählt.

Startjahr der Betrachtung: 2016

Als Grundlage für die Ermittlung des Energiebedarfs (Endenergie und Nutzenergie) des gegenständlichen Projekts **am Startjahr 2016 festgehalten** – ebenso an der Verarbeitung der veröffentlichten **Bundesländerenergiebilanzen** der Statistik Austria des **Jahres 2017 mit Datenstand 2016**. Die Hochrechnung der in den Jahren 2050 bzw. 2040 benötigten Nutzenergie erfolgt – wie im Vorprojekt auch – unter anderem auf Grundlage der Bevölkerungsprognose bis zum Jahr 2050 (STATISTIK AUSTRIA 2016).

Gegenstand: Szenarienbetrachtung, keine Prognose

Das Konsortium ist sich bewusst, dass die nachfolgend veröffentlichten Energiebilanzen durch rückwirkende Änderungen der Statistiken seitens der Statistik Austria sowohl für die Jahre 2017 und 2018 als auch für das Jahr 2016 teils abweichende Werte aufweisen, diese aber **in ähnlicher Größenordnung** liegen wie die zu Grunde gelegten Daten. Darüber hinaus handelt es sich bei der vorliegenden Studie um eine **Szenarienbetrachtung**, in die zahlreiche Annahmen einfließen, wie z.B. Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum bis hin zu eingesetzten Technologien in der Wärmebereitstellung in Gebäuden oder Nutzung künftiger Fahrzeugantriebstechnologien, über deren Ausprägung derzeit kein vollständiger, akkordierter Datensatz besteht. Demnach sind die **erzielten Werte als Näherungswerte zu verstehen**, die in den betrachteten Jahren nie genau erreicht werden. Das ist auch nicht das Ziel der Szenarienbetrachtung. Diese dient vielmehr der Plausibilisierung der Autonomieziele und dem Aufzeigen von Handlungsoptionen bzw. -erfordernissen, um diese erreichen zu können.

Grobe Näherungswerte als Ergebnis

Aufgrund des gewählten methodischen Ansatzes wurden die Berechnungen „von Anfang bis Ende“ auf Basis der gewählten und beschriebenen Annahmen auf Dezimalstelle genau durchgeführt und in den Ergebnissen im Text, in den Tabellen und Graphiken sowie in den Flussbildern dargestellt, um nicht durch Rundungen zusätzliche Ungenauigkeiten zu erzeugen. Die **Werte** sind jedoch **jeweils als grobe Näherungs-Werte zu verstehen**.

3 VERANLASSUNG UND ZIELE

Das Land Tirol hat sich in Übereinstimmung mit internationalen und nationalen Vorgaben zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr **2050 energieautonom** zu werden und im Jahressaldo die im Land benötigte Energie durch heimische Energieträger selbst zu decken.

Im Rahmen der Studie „**Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050**“ (EBENBICHLER et al. 2018) wurden fünf Szenarien erarbeitet, die aufzeigen, unter Einsatz welcher heimischen Ressourcen und unter Rückgriff auf derzeit und zukünftig zu erwartenden Technologien das Energieziel 2050 in Tirol erreicht werden kann. Die Ergebnisse wurden am 05. März 2019 im Rahmen einer Landes-Presskonferenz sowie in der Folge zahlreicher weiterer Informationsveranstaltungen vor Interessensvertretungen, Stakeholdern und politischen Kreisen vorgestellt.

Die Studie „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ umfasst unter anderem vier Grenzwert-Szenarien, die den maximalen Einsatz von Strom, Wasserstoff und synthetischem Methan berücksichtigen sowie ein Energiemix-Szenario, welches auf einem weitestgehenden Einsatz von Strom in Kombination mit dem Einsatz von Wasserstoff und synthetischem Methan in bestimmten Bereichen (z.B. Brennstoffzellen in Nutzfahrzeugen) basiert.

Die vorliegende Studie soll nun – aufbauend auf dem Energiemix-Szenario – ein **möglichst allgemein akkordiertes Zielszenario** „Unser Weg nach 2050“ ableiten, welches als Orientierungshilfe für die **politische Marschrichtung der nächsten fünf bis zehn Jahre** dienen soll.

Dabei soll die Ableitung des Zielszenarios in Übereinstimmung mit den übergeordneten Energiezielen von Europäischer Union, Bund und Land Tirol erfolgen, insbesondere mit folgenden Zielen:

Europäische Union:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80-95 % gegen-über 1990 – somit nahezu vollständige Deckung des End-energiebedarfs durch Erneuerbare Energieträger
- Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 50 bis 55 % gegenüber 1990 (Green Deal)

Österreich:

- Klimaneutralität bis 2040
- Stromautonomie bis 2030 – Deckung des Strombedarfs zu 100 % aus Erneuerbaren
- Erhöhung des Anteils Erneuerbarer am Brutto-Endenergieeinsatz bis 2030 auf 45 bis 50 %
- Reduktion der Treibhausgasemissionen (nonETS) bis 2030 um 36 % gegenüber 2005

Tirol:

- Energieautonomie 2050 – Deckung des Endenergiebedarfs im Jahressaldo zu 100% aus heimischen erneuerbaren Energieträgern

Mit Blick auf das im Jänner 2020 von der neuen Bundesregierung vorgestellte Regierungsprogramm (ÖVP & DIE GRÜNEN 2020) und der darin enthaltenen beabsichtigten Klimaneutralität Österreichs bis zum Jahr 2040 wird ein

alternatives Zielszenario in gegenständlicher Studie dargestellt, worin aufgezeigt wird, welche Annahmen erforderlich wären, um eine **Energieautonomie Tirols** mit einem **um zehn Jahre verkürzten Zielhorizont** zu erreichen.

Um die notwendigen Anpassungen im Energiesystem Tirols greifbarer darzustellen und so notwendige Umsetzungsmaßnahmen zu forcieren, werden zusätzlich **Zwischenziele für das Jahr 2030** definiert und die eingesetzten Energieträger auf Nutz- und Endenergieebene in den einzelnen Sektoren wie auch gesamthaft **in Jahresauflösung** dargestellt.

4 PROJEKTKONSORTIUM UND BEIRAT

4.1 Projektkonsortium

- **Wasser Tirol - Ressourcenmanagement-GmbH, 6020 Innsbruck**
DI Rupert Ebenbichler
Dr. Andreas Hertl, M.A.
- **Management Center Innsbruck, Internationale Bildung und Wissenschaft GmbH, 6020 Innsbruck**
Prof. Dr. Angela Hofmann
Stefan Gföller, M.Sc.
Thomas Hämmerle, M.Sc.
Sandra Rzehak, M.Sc.
Nina Schaaf, M.Sc.
- **Universität Innsbruck, AB Energieeffizientes Bauen, 6020 Innsbruck**
Prof. Dr. Wolfgang Streicher
Dr. Fabian Ochs,
Dott. Mag. Alice Tosatto
- **Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, AB Intelligente Verkehrssysteme, 6020 Innsbruck**
Prof. Dr. Markus Mailer
DI Inga Anton, M.Sc.
Felix Reith, B.Sc.

4.2 Beirat

An den Beiratssitzungen haben folgende Personen teilgenommen:

- **Amt der Tiroler Landesregierung**
HR Dr. Christian Bidner , Abt. Landesentwicklung
Dr. Christian Dobler, Nachhaltigkeitskoordinator des Landes Tirol
Mag. Jakob Egg, MAS, Abt. Landesentwicklung
Mag. Andrä Fankhauser, Büro LH-Stv. ÖR Josef Geisler
Mag. Martin Gassner, Sachgebiet Verkehrsplanung
Mag. Johannes Kostenzer, Landesumweltanwalt Tirol
Dr. Wolfgang Nairz, Abt. Wasser-, Forst- und Energierecht
DI Stephan Oblasser, Landesenergiebeauftragter
Mag. Michael Reischer, Landesumweltanwaltschaft
Dr. Leo Satzinger, Gruppe Umwelt, Raumordnung und Verkehr
- **Energie Tirol**
DI Bruno Oberhuber
- **Lebensraum Tirol GmbH**
DI Norbert Gleirscher

- **Stadtmagistrat Innsbruck**
Mag. Philipp Aumann, Amt für Verkehrsplanung und Umwelt
- **Wirtschaftskammer Tirol**
Mag. Stefan Garbislander, Abt. Wirtschaftspolitik, Innovation und Strategie
Ing. Richard Stöckl, Technologieservice

5 PROJEKTMEILENSTEINE

- 06.02.2020: Projektstart
- 24.04.2020: Stakeholder-Workshop Sektor Produktion
- 24.06.2020: Stakeholder-Workshop Biomasse Holz
- 25.06.2020: 1. Advisory-Board-Workshop
- 08.07.2020: Workshop mit Naturschutzverbänden
- 24.11.2020: 2. Advisory-Board-Workshop

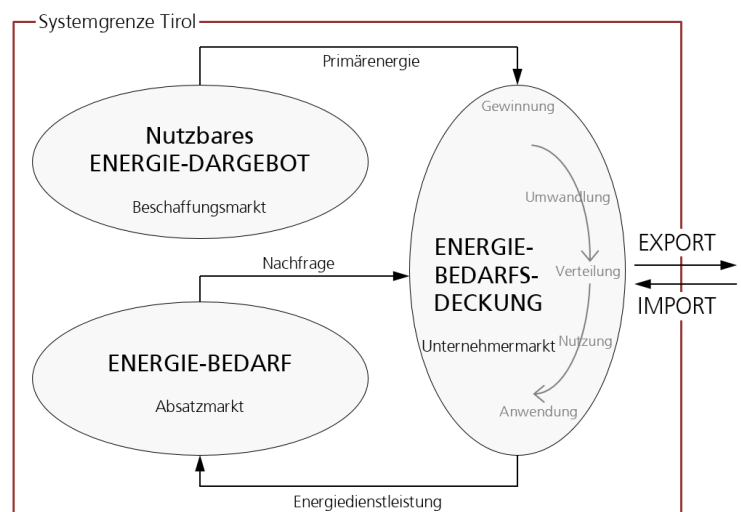
6 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN UND METHODIK

6.1 Systemverständnis und Systemgrenze

Die der gegenständlichen Studie zugrundeliegende quantitative und energieträgerbasierte Analyse der Energieflüsse sowie deren definitionsreine begriffliche Zuordnung ermöglichen eine transparente Darstellung von Zusammenhängen und Prozessabläufen im Tiroler Energiesystem. Der gewählte Systemansatz (FLEISCHHACKER 1994) bildet das Energiesystem ganzheitlich und wirklichkeitsnah mit den Bestandteilen

- nutzbares Energie-Dargebot (entspricht dem Beschaffungsmarkt),
- Energie-Bedarf (entspricht dem Absatzmarkt) und
- Energie-Bedarfsdeckung (entspricht dem Unternehmermarkt)

ab, welche über Informations-, Material- und Werteflüsse verbunden und zueinander in Beziehung stehen. Einflüsse im Bereich Unternehmermarkt (bspw. Änderungen in Produktionsmethoden), Beschaffungsmarkt (bspw. Erschließung neuer Ressourcen oder Verknappung von Ressourcen) sowie Absatzmarkt (bspw. Änderungen in der Nachfragestärke oder Nachfragequalität) setzen Aktionen und Handlungen über Informations-, Material- und Werteflüsse in Gang, die im Hinblick auf die beabsichtigte Zielerreichung „Energieautonomie Tirol 2050“ ausgewertet werden können.



Quelle: OBLASSER et al. (1993), FLEISCHHACKER (1994), vereinfacht.

Abb. 1: Systemverständnis.

Als **Systemgrenze** wurde die **Landesgrenze Tirols** definiert. Die außerhalb Tirols gelegenen nutzbaren Energieresourcen, -bedarfe sowie die Bedarfsdeckung sind über **Import- und Exportmöglichkeiten** mit der Bedarfsdeckung Tirols verbunden – beispielsweise seien diesbezüglich der Zukauf von Biofuels oder auch die Importe und Exporte von Strom zur Sicherstellung der Tiroler Landesversorgung angeführt. „Graue Energie“ bzw. CO₂-Emissionen, die bei Produktion und Transport außerhalb der Systemgrenzen anfallen, finden in gegenständlicher Studie keine Berücksichtigung. Im Bereich der Mobilität sind der Ort des Energiebezugs (z.B. des Tankens) und der Ort des Energiebedarfs nicht identisch. Im Sinne der bisherigen Energiebilanzierung (Statistik Austria, Energiemonitoring des Landes Tirol) wird jene Energie berücksichtigt, die in Tirol bezogen (getankt) wird.

Diese von einer verkehrsplanerischen Betrachtungsweise abweichende Bilanzierung der Energiestatistik wirkt sich im grenzüberschreitenden Verkehr deutlich aus. Damit sind z.B. auch jene Treibstoffe einbezogen, die Tirol getankt – aber nicht verfahren – werden („Tanktourismus“), aber z.B. nur zum kleinen Teil die Energie, die mit der An- und Abreise im Tourismus in Verbindung steht (s.a. Kap. 18.4.1).

6.2.4 Nutzenergie

Nutzenergie bezeichnet jene Energie, die nach der letzten Umwandlung in den Geräten des Verbrauchers für die Befriedigung der jeweiligen Bedürfnisse (z.B. Raumtemperierung, Nahrungszubereitung, Information, Beförderung, Beleuchtung) zur Verfügung steht. Sie wird aus Endenergieträgern bzw. der Endenergie gewonnen – vermindert um die Verluste dieser letzten Umwandlung (z.B. Verluste infolge der Wärmeabgabe einer Glühlampe für die Erzeugung von Licht, Verluste in einer Hackschnitzelfeuerung bei der Bereitstellung von Wärme). Zur Verdeutlichung des Einsatzes einzelner Energieträger für die jeweiligen Energiedienstleistungen werden die dafür eingesetzten Energieträger abzüglich Verluste auf Nutzenergieebene dargestellt.

6.2.5 Energiedienstleistung

Unter Energiedienstleistung wird der eigentliche Nutzen der Energie verstanden. Bezogen auf Gebäude bezeichnet man damit z.B. den behaglich konditionierten Raum. Zwischen Nutzenergie und Energiedienstleistung liegt das ganze Feld der Effizienz. So braucht ein gut gedämmter Raum wesentlich weniger Nutzenergie zur Beheizung als ein schlecht gedämmter, um die gleiche Energiedienstleistung zu erreichen. Bei der Mobilität versteht man darunter im motorisierten Verkehr z.B. den Transport von Personen oder Gütern mit verschiedenen Fahrzeugen von Quellen zu Zielen. Auch in diesem Bereich benötigt ein effizientes Verkehrssystem in Wechselwirkung mit einer effizienten Raumplanung weniger Nutzenergie zur Befriedigung der in der Bevölkerung vorhandenen bzw. mit der Wirtschaft verbundenen Mobilitätsnachfrage.

6.3 Energiepotenziale

6.3.1 Theoretisches Potenzial

Das theoretische Potenzial beschreibt das innerhalb der Systemgrenzen innerhalb eines bestimmten Zeitraums theoretisch physikalisch nutzbare Energiedargebot – beispielsweise die auf die Erdoberfläche einfallende Solarstrahlung oder die – unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit – jährlich nachwachsende Holzmenge. Das Potenzial markiert damit die Grenze des theoretisch maximal realisierbaren Beitrags einer Option zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Energiebereitstellung. Aufgrund unüberwindbarer technischer, ökologischer, struktureller und administrativer Schranken kann das theoretische Potenzial meist nur zu sehr geringen Teilen erschlossen werden (KALTSCHMITT et al. 2016).

6.3.2 Nutzbares Potenzial

Im Rahmen der gegenständlichen Studie wird für den Bereich des Ressourcen-Dargebots das „nutzbare Energiepotenzial“ ausgewiesen. Das nutzbare Potenzial basiert dabei auf dem theoretischen Potenzial vermindert um aktuelle und auch in Zukunft zu erwartende sozioökonomische und sonstige Beschränkungen. Das nutzbare Energiepotenzial einzelner Primärenergieträger kann dadurch bis auf Null absinken und somit in den Szenarienbetrachtungen nicht mehr berücksichtigt werden. Sollten sich die Rahmenbedingungen bis zum Jahr 2050 bedeutend ändern, kann sich das nutzbare Potenzial einzelner Energieträger gegenüber den Ergebnissen der gegenständlichen Studie erhöhen oder auch verringern. Als Beschränkungen wurden u.a. die derzeitigen allgemeinen Rahmenbedingungen bei der Bewilligung von Wasserkraftanlagen, Akzeptanzfragen zu bspw. Freiflächen-Photovoltaikanlagen oder Windkraftanlagen, die derzeitigen Bewirtschaftungsmuster der Waldbesitzer und -pächter sowie bspw.

auch die Entwicklungen im Ausbau von Solaranlagen berücksichtigt, aber auch Nutzungskonflikte bezüglich der Nutzung knapper Ackerflächen. Die bei der Ausweisung des nutzbaren Potenzials der heimischen Ressourcen angesetzten beschränkenden Rahmenbedingungen sind den Ausführungen der jeweiligen Ressourcen zu entnehmen.

7 DATENGRUNDLAGEN

7.1 Sektorübergreifende Datengrundlagen

- Studie „Ressourcen und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018)
- Regionale Bundesländerenergiebilanz Tirol 1988-2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017)
- Regionale Bundesländerenergiebilanz Tirol 1988-2018 (STATISTIK AUSTRIA 2019)
- Nutzenergieanalyse Tirol 1988-2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017)
- Nutzenergieanalyse Tirol 1988-2018 (STATISTIK AUSTRIA 2019)
- Demographische Daten Tirol (AdTLR 2019)
- Bevölkerungszahlen (STATISTIK AUSTRIA 2017, STATISTIK AUSTRIA 2016, ÖROK 2015)
- Bruttowertschöpfung Tirol 1967-2019 (Mitt. Wirtschaftskammer Tirol 2020)
- Energie-Systemverständnis (OBLASSER et al. 1993, FLEISCHHACKER 1994)
- Erneuerbare Energien, Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte (KALTSCHMITT et al. 2013)
- Energiebedarfsdaten des Jahres 2016 der Tiroler Energieversorgungsunternehmen (Strom, Gas)
- Emissionskataster nach §9 Immissionsschutzgesetz – Luft, BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.g.F. (AdTLR 2017)

7.2 Sektor Mobilität

- Fahrleistungen von Linien- und Flächenverkehren in Tirol: Datenquelle Verkehrsmodell Tirol (2016), Datenbasis 2005, zitiert in Tiroler Energiemonitoringbericht 2016 (HERTL et al. 2017)
- Statistische Daten zur Entwicklung der Motorisierung und Fahrleistungen: Energieeinsatz der Haushalte (Mikrozensus 2015/16 und 2017/18) – Fahrleistungen und Treibstoffeinsatz privater Pkw. Ergebnisse für Tirol (STATISTIK AUSTRIA 2019)
- Kfz-Bestand Tirol, Pkw-Bestand nach Kraftstoffarten und Bundesländern mit Stichtag 31. Dezember des jeweiligen Jahres (STATISTIK AUSTRIA 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).
- Nachhaltigkeitsbericht 2017 des Flughafens Innsbruck (TIROLER FLUGHAFENBETRIEBS-GMBH 2017).
- Auskünfte der Verkehrsverbund Tirol GesmbH, der Wirtschaftskammer Tirol, des Flughafens Innsbruck, der Transalpine Ölleitung in Österreich Ges.m.b.H. und der Achenseeschifffahrt-GesmbH.

7.3 Sektor Produktion

- Emissionskataster Tirol – Erhebung von Kesselanlagen 2006 und 2011
- Energiedaten aus dem Nachhaltigkeitsbericht der Fa. Sandoz, Daten bis 2017 (SANDOZ GMBH 2018)
- Diverse Ratgeber für energieeffiziente Technologien in Industrie und Gewerbe (DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH 2010-2015, 2018)
- WKO Statistik, Wirtschaftslage und Prognose der Sachgütererzeugung (WKO 2017, Mag. Garbislander)
- Faktenblatt Dampfkessel (FFE 2014)
- Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Prozesstechnologien (FLEITER et al. 2013)
- Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration (STERNER et al. 2017)

- Regenerative Energiesysteme (WATTER 2019)
- Elektrochemische Speicher (KURZWEIL et al. 2015)
- Diverse persönliche Gespräche mit Fachleuten Tiroler Unternehmen (z.B. Montanwerke Brixlegg, Sandoz, GE Jenbacher, Swarovski, Donau Chemie, Syncraft, Swietelsky, Schretter & Cie GmbH, TIGAS, TINETZ, etc.)
- Interessensvertreter (z.B. WKO Tirol; Industriellenvereinigung Tirol, ...)
- Online-Befragung von Tiroler Firmen (Umfrage-Tool LimeSurvey)
- Vergleichsstudie in Deutschland zur Energieeffizienz (SAUER et al. 2016).

7.4 Sektor Sonstige / Gebäude

- Die Tiroler Bevölkerung. Ergebnisse der Registerzählung 2011 (AdTLR 2014).
- Baubewilligungen, Neuerrichtung ganzer Gebäude ab 2010 (STATCUBE 2016).
- Modellierung der Entwicklung von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im österreichischen Wohngebäudebestand unter Annahme verschiedener Optimierungsziele, Dissertation (SCHRIEFL 2007).
- Solarthermische Anlagen für Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (EICKER 2011).
- EneRALp Tool Softwaredokumentation (PFEIFER et al. 2016).
- Entwicklung, Untersuchung und Bewertung von Berechnungsmodellen zur Erstellung von kommunalen Energiebilanzen im Gebäudebereich. Dissertation Univ. Innsbruck (PFEIFER 2017).
- Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).
- Gebäude- und Wohnungszählung (GWZ) 2011 (STATCUBE 2018).
- OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9(3) zu 2010/31/EU (OIB 2014).
- OIB-Erläuterung der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen OIB-Dokumenten, den Österreichischen und Europäischen Normen zur Umsetzung der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) – Übergreifendes Dokument (OIB 2014).
- Statistisches Jahrbuch Österreichs 2017, Kapitel Bevölkerung (STATISTIK AUSTRIA 2016).
- Zahlen, Daten, Fakten zu Wohnungspolitik und Wohnungswirtschaft in Österreich (OBERHUBER et al. 2014).

7.5 Energieressourcen

- Solarkataster Tirol 2015 (AdTLR 2016)
- Wasserkraft in Tirol. Potenzialstudie (AdTLR 2011)
- Deklaration Wasserkraftnutzung in Tirol (AdTLR 2011)
- Holzflussbild Tirol 2016 (AdTLR, Abt. Waldschutz)
- Abfallaufkommen und -mengen Tirols (AdTLR 2017, ARGE ECO.IN 2011, BMNT 2017, BMNT 2017, IUT 2003)
- Räumliche Verteilung des Viehbestands in Tirol (LWK Tirol 2018)
- Kläranlagenkataster 2013 (AdTLR 2014)
- Grundwasserkörper Tirols (ANDERLE et al. 1978)

8 ENERGETISCH NUTZBARES POTENZIAL – DARGEBOT

8.1 Wasserkraft



Basis der Ermittlung des nutzbaren Wasserkraftpotenzials Tirols ist der Wasserkraftanlagenbestand, der in den Monaten Feber bis Mai 2020 anlagenbezogen mit der Abteilung Wasserwirtschaft des Amts der Tiroler Landesregierung abgestimmt wurde.

8.1.1 Anlagenbestand 2020

Gemäß Wasserinformationssystem des Landes und Abstimmung mit der Abteilung Wasserwirtschaft waren mit Stand 29.05.2020 ca. 900 Wasserkraftanlagen mit einer Leistung von rund 3.300 MW und einem Regelarbeitsvermögen von rund 6.800 GWh im Bestand.

8.1.2 Anlagenbestand 2011

Gemäß Wasserinformationssystem des Landes und Abstimmung mit der Abteilung Wasserwirtschaft lag das Regelarbeitsvermögen **im Jahre 2011 bei rund 6.600 GWh**, welches als Basis für die weiteren Betrachtungen dient. Gegenüber den Ausführungen bei EBENBICHLER et al. (2018), die auf dem tatsächlichen Wasserkrafterzeugungswert des Jahres 2011 gemäß STATISTIK AUSTRIA (2017) aufbauten, liegt der Basiswert um rund 900 GWh höher.

8.1.3 Wasserkraftpotenzial (2011)

Das **technisch-wirtschaftlich noch nicht genutzte Wasserkraftpotenzial** wurde im Jahr 2011 auf rund **7.000 GWh** beziffert (AdTLR 2011). Damit ergibt sich in Summe ein energetisch nutzbares Wasserkraftpotenzial in Tirol in Höhe von rund **13.600 GWh**. Seit Erscheinen der Studie ist dieses Potenzial durch z.B. des Ausschlusses des mittleren Inns, überwiegender Teile Osttirols durch Natura 2000-Festlegung, des Rahmenplans Tiroler Oberland etc. deutlich reduziert, jedoch nicht näher beziffert worden.

8.1.4 Wasserkraftausbauziel

Mit der **Deklaration „Gemeinsames Verständnis zur zukünftigen Wasserkraftnutzung in Tirol“** vom 15.03.2011 hat sich das Land Tirol zum Ziel gesetzt, bis zu 40 % des nutzbaren Potenzials aus Wasserkraft (etwa 7.000 GWh/a) in den kommenden 25 Jahren energiewirtschaftlich zu nutzen (AdTLR 2011). Das bedeutet einen **angestrebten Wasserkraftausbau um bis zu 2.800 GWh/a bis zum Jahr 2036**. Auf Basis des installierten Regelarbeitsvermögens im Jahr 2011 ergibt sich dabei als **Wasserkraftausbauziel** bis zum Jahr 2036 ein Regelarbeitsvermögen von **rund 9.400 GWh** unter der Voraussetzung, dass eventuelle Erzeugungseinbußen durch die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmen-Richtlinie oder auch aufgrund von Anlagenstilllegungen durch Anlagenneubauten oder Anlagen-erweiterungen ausgeglichen werden. Der Ausbau des Regelarbeitsvermögens bis 2036 soll dabei in etwa folgen-dermaßen verteilt sein:

Großwasserkraftwerke.....	+ 2.000 GWh
Regionalwasserkraftwerke.....	+ 500 GWh
Kleinwasserkraftwerke.....	+ 300 GWh

Aufgrund des bisherigen Wasserkraftausbaus seit dem Jahr 2011, der Verfahrensstände derzeitiger – vor allem großer – Wasserkraftwerke in Tirol sowie der von den großen Tiroler Elektrizitätsunternehmen abgeschätzten Erzeugungseinbußen bis 2027 infolge der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie wird im Rahmen der gegenständlichen Studie nicht davon ausgegangen, dass ein Wasserkraftausbau um mehr als 2.800 GWh gegenüber dem Jahr 2011 in Tirol bis zum Jahr 2050 erfolgen wird.

8.1.5 Wasserkraftausbau – zeitlicher Verlauf

Der Ausbau der Groß-Wasserkraft wird im Rahmen der gegenständlichen Studie analog der im Herbst 2019 mitgeteilten Planung von Kraftwerksprojekten der TIWAG dargestellt, wobei Erzeugungseinbußen nicht berücksichtigt sind. Da der Ausbau der TIWAG alleine nicht zur Zielerreichung der Wasserkraftausbauoffensive ausreicht, wurde die noch verbleibende Ausbau-Differenz bis 2036 („Weitere zu errichtende Anlagen zur Zielerreichung“) gleichmäßig über die Jahre ab 2020 verteilt und ist vorrangig über kleinere und mittlere Wasserkraftanlagen (Erweiterungen und/oder Neubauten) zu decken (s.a. HERTL et al. 2020). Das Ergebnis der zeitlichen Auflösung des Wasserkraftausbaus bis zum Jahr 2036 ist Abb. 3 zu entnehmen. Die Graphik zeigt die voraussichtliche Entwicklung des Ausbaus der Wasserkraft bis zum Jahr 2036 auf Basis des heutigen Anlagenbestands in Höhe von rund 6.800 GWh, der rund 200 GWh über jenem des Jahres 2011 liegt.

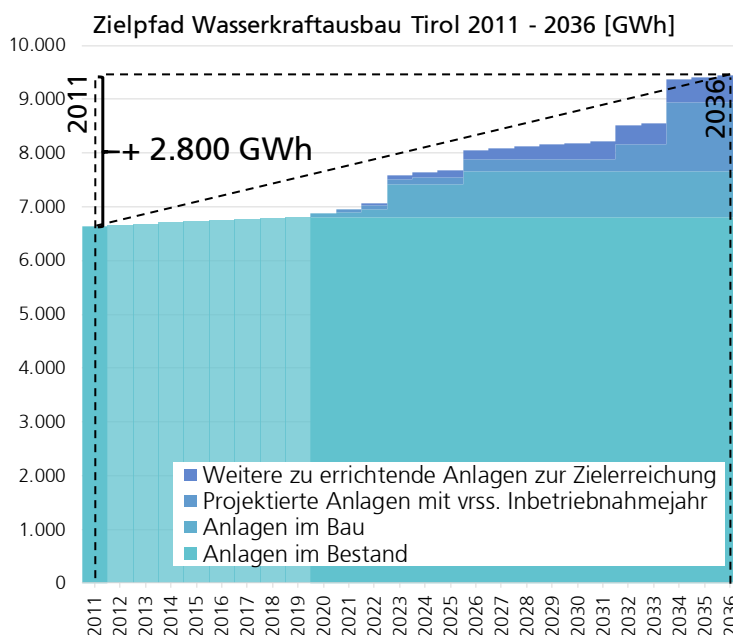


Abb. 3: Zielpfad des Wasserkraftausbaus in Tirol bis 2036 ohne Berücksichtigung eventueller Stilllegungen / Erzeugungseinbußen im Rahmen der Umsetzung der EU-WRRL.

Auf Basis des aktuellen Anlagenbestands, des Bestands des Jahres 2011, der in Bau befindlichen und projektierten Anlagen sowie der zusätzlich nötigen Anlagen wurde der in Tab. 1 dargestellte Wasserkraft-Ausbaupfad abgeleitet, wobei davon ausgegangen wurde, dass das RAV des Jahres 2050 gleich dem des Jahres 2036 sein wird.

Tab. 1: Wasserkraftanlagen-Ausbaupfad Tirol 2011 bis 2050 (gerundet).

	2011	2020	2030	2036	2050
RAV	6.600 GWh	6.800 GWh	8.200 GWh	9.400 GWh	9.400 GWh
Ausbau RAV ggb. 2011		+200 GWh	+1.600 GWh	+ 2.800 GWh	+2.800 GWh

8.2 Sonne

Die Potenzialermittlung der solaren Einstrahlung erfolgt im Rahmen der gegenständlichen Studie entsprechend der Methodik der Studie „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018).

Die Einstrahlungswerte sämtlicher in der **Solarpotenzialstudie Tirol (2015)** ausgewiesenen **Dachflächen** mit den im Bestand **vorliegenden Neigungen** wurden analysiert. Dabei sind u.a. folgende Punkte zu beachten:

- Durch Aufständungen von Solarmodulen auf den ausgewiesenen Dachflächen können die zu erzielenden Strom- und Wärme-Erträge unter Umständen erhöht werden.
- Die Dachflächenentwicklung bis ins Jahr 2050 kann nicht verlässlich vorhergesehen werden – weder bezüglich Flächengrößen, noch Ausrichtung und Neigung und solare Einstrahlungsmengen. Aufgrund dieser Unwägbarkeiten sowie der groben Annahmen nicht nutzbarer Dachflächenanteile (s.u.) wurde darauf verzichtet, eine Dachflächenentwicklung bis zum Jahr 2050 in ggst. Studie einzubeziehen.
- Weitere potenziell nutzbare Flächen wie z.B. Freiflächen, Bauwerksfassaden oder Lärmschutzwände wurden nicht vertieft untersucht.

8.2.1 Solarkataster Tirol

Das Solarkataster Tirol beinhaltet rund 3,48 Mio. geneigte Dachflächenteile mit einer Mindestgröße von 5 m² und bildet den Gebäudebestand des Jahres 2012/2013 ab (AdTLR 2015). Die **solare Einstrahlung** auf diese Dachflächen beträgt **rund 250.968 TJ/a**.

Unter der Annahme, dass eine wirtschaftliche solartechnische Nutzung ab einer Einstrahlungsintensität von 950 kWh/(m²•a) gegeben ist, verbleiben solartechnisch **sinnvoll nutzbare Dachflächen** mit insgesamt 49.393.754 m². Dies sind **57% der Gesamtdachflächen Tirols**, welche eine **Einstrahlungssumme von rund 183.346 TJ/a** aufweisen.

Da Dachflächen in der Regel nicht gleichmäßig geneigte Rechtecke bilden, die mittels Modulen bündig belegt werden können, sondern Fensterflächen, Kamine, Gaupen, Kanten, Sockel etc. aufweisen, ist eine lückenlose Bestückung mit Standardmodulen nicht möglich. Darüber hinaus werden bestimmte Gebäude realistischer Weise auch in Zukunft nicht mit Solarmodulen bestückt werden wie z.B. Heustadeln und sonstige abseits gelegene Gebäude, die meist keinen Netzanschluss aufweisen, sowie Kirchen und denkmalgeschützte Häuser. Auch wenn es mitunter Beispiele von vollbelegten Dachflächen gibt, ist davon auszugehen, dass in den meisten Fällen Freiflächen für Wartungs- und Servicearbeiten von einer solartechnischen Nutzung ausgespart bleiben.

Im Rahmen der gegenständlichen Studie wurden daher folgende **Annahmen auf Basis von Musterauswertungen** einzelner Gemeinden sowie Dachflächen getroffen:

Nicht nutzbare Dachflächen

- aufgrund Dachfensterflächen, Kaminen, Kirchdächern, denkmalgeschützten Häusern etc. 16 %
- aufgrund Wartungs- und Serviceflächen..... 15 %

8.2.2 Photovoltaik-Potenzial

Unter der Annahme einer nutzbaren Energieausbeute von Photovoltaik-Anlagen in Höhe von 13 % der eingestrahlten solaren Energie sowie den o.g. Annahmen verbleibt ein nutzbares **Photovoltaik-Potenzial** in Höhe von **rund 16.500 TJ/a** bei Nutzung sämtlicher nutzbarer Dachflächen Tiroler Gebäude.



8.2.3 Solarthermie-Potenzial

Unter der Annahme einer nutzbaren Energieausbeute von solarthermischen Anlagen in Höhe von 350 kWh/(m²•a) (ENERGIE TIROL 2017) sowie der Berücksichtigung der o.g. Annahmen verbleibt ein nutzbares **solarthermisches Potenzial** in Höhe von **rund 43.200 TJ/a** bei Nutzung sämtlicher nutzbarer Dachflächen Tiroler Gebäude.



8.2.4 Dachflächen – Potenziale und Verfügbarkeit

Zur Verfügung stehende Dachflächen können entweder mit Photovoltaik-Modulen zur Stromerzeugung oder mit solarthermischen Modulen zur Wärmeerzeugung belegt werden. Eine **Doppelnutzung** mittels Photovoltaik- und solarthermischen Modulen ist **nicht möglich**.

Entsprechend der Entwicklungen des Bestands von Photovoltaik- und solarthermischen Modulen in den vergangenen Jahren (u.a. in HERTL et al. 2020) sowie in Anlehnung an den zukünftig stark steigenden Strombedarf wurde im Rahmen der gegenständlichen Studie davon ausgegangen, dass

- **95 % der nutzbaren Dachflächen zur Stromerzeugung und**
- **5 % der nutzbaren Dachflächen zur Warmwassererzeugung**

zur Verfügung stehen. Demnach wurde das nutzbare solare Potenzial auf den Dachflächen Tiroler Gebäude im Rahmen der ggst. Studie mit **rund 15.700 TJ/a Strom** sowie **rund 2.200 TJ/a Wärme** beziffert.

8.2.5 Freiflächenanlagen

Aufgrund des unter anderem nur beschränkten Dauersiedlungsraums, begrenzter landwirtschaftlicher Flächen, Interessen des Tourismus sowie des Landschaftsschutzes ist ein sorgsamer Umgang mit der Ressource Boden in Tirol Voraussetzung. Gebäudeintegrierte Solarmodule sind daher i.d.R. Freiflächenanlagen vorzuziehen, wobei letztere in Übereinstimmung mit der Position der Tiroler Umweltanwaltschaft vorrangig versiegelte Flächen bzw. Flächen im technisch überprägten Landschaftsraum nutzen sollten, keinesfalls jedoch innerhalb geschlossener Ortschaften oder innerhalb Schutzgebiete errichtet werden sollten (TIROLER UMWELTANWALTSCHAFT 2013). Damit sind Freiflächenanlagen – auch aufgrund der somit meist weiten Entfernungen zu Mittelspannungsnetzen mit entsprechenden Leitungskapazitäten – nur schwer zu realisieren.

Auf die **Ausweisung eines nutzbaren Potenzials** auf Basis **von Freiflächenanlagen** wird daher im Rahmen der gegenständlichen Studie **verzichtet**.

Jedoch soll an dieser Stelle auf die seit 2013 betriebene **Freiflächenanlage** in der **Gemeinde Assling** verwiesen werden, da ihre Kennzahlen helfen, die Aussagen und Erfordernisse hinsichtlich Freiflächenanlagen – unter anderem in Kap. 12.4 – besser zu verstehen und im Gesamtkontext darzustellen.

Freiflächenanlage der Gemeinde Assling:

- Betreiber: Elektrizitätswerk Assling
- 4 getrennte Anlagen
- Flächenbedarf: **rund 30.000 m²**
- Modulfläche: **13.500 m²**
- Stromerzeugung: **2,4 GWh/a**
- Gesamtleistung: **2.000 kW_p**



Quelle: ewa.at

Abb. 4: Eine von vier Freiflächenanlagen in Assling.

8.3 Biomasse

8.3.1 Holz, Pellets, Hackschnitzel

Rund 41,2 % der Tiroler Landesfläche sind waldbestanden – dies entspricht einer Fläche von **rund 500.000 ha** (www.waldinventur.at). Die Fläche des **Ertragswalds** wird gemäß Österreichischer Waldinventur (ÖWI) für die Erhebung 2007 – 2009 mit **rund 347.000 ha** beziffert, wovon 74 % als Wirtschaftswald sowie 26 % als Schutzwald im Ertrag klassifiziert werden.



Gemäß Mitteilung der Abt. Waldschutz am 13. Mai 2020 lässt sich der **natürliche Holzzuwachs** in Tirol mit **1,7 bis 1,8 Mio. FMO inklusive Astanteil pro Jahr** beziffern, was einem Energiewert von rund 4.200 bis 4.450 GWh/a entspricht. 1,3 bis 1,4 Mio. FMO werden durchschnittlichen in den Tiroler Wäldern jährlich eingeschlagen.

Energiepotenzial des Tiroler Waldes: 7.020 TJ/a

Die energetische Nutzung von in Tirol gewachsenem Holz beschränkt sich einerseits auf **Energieholz**, welches zum Zweck der energetischen Nutzung geerntet wird, und **Sägenebenprodukte**, die in der Holzwerkstoff- und Sägeindustrie bei der Verarbeitung von Holz aus dem Tiroler Wald anfallen und neben Holzabfällen auch Stäube umfassen. Das durchschnittlich pro Jahr geerntete Energieholz weist einen Energiegehalt von rund 880 GWh (3.168 TJ), die energetisch eingesetzten Sägenebenprodukte aus Tiroler Holz einen Energiegehalt von rund 1.070 GWh (3.852 TJ) auf – in Summe somit rund 1.950 GWh/a bzw. 7.020 TJ/a.

Energiepotenzial von Sägenebenprodukten importierten Holzes: 8.316 TJ/a

Holzabfälle und Stäube (Sägenebenprodukte), welche bei der stofflichen Verwertung von nach Tirol importiertem Rundholz anfallen, werden statistisch im Rahmen der Bundesländerenergiebilanzen als Tiroler Holzabfälle geführt. **Somit wird statistisch aus Importen eine heimische Ressource**, deren Menge stark abhängig von der wirtschaftlichen Entwicklung der derzeit starken Tiroler Holzindustrie ist. Sollte die Bedeutung der Tiroler Holzindustrie abnehmen oder aufgrund wirtschaftlich günstigerer Rahmenbedingungen im Ausland eine Absiedlung der Standorte von Tirol erfolgen, würde das Energiepotenzial von Sägenebenprodukten importierten Holzes abnehmen oder sogar ganz verschwinden.

Da die **Entwicklung der Tiroler Holzindustrie** in den nächsten 30 Jahren **nicht absehbar** ist, wurde im Rahmen der gegenständlichen Studie von einem **Fortbestand des Energiepotenzials** aus Sägenebenprodukten importierten Holzes auf gleichem Niveau ausgegangen – rund 2.310 GWh/a bzw. 8.316 TJ/a.

Holzflussbild Tirol: Komplexe Wege und Unwägbarkeiten in der Quantifizierung

Die komplexen und teils nicht sauber quantifizierbaren Holzflüsse in Tirol zeigt beispielhaft das Holzflussbild Tirols des Amtes der Tiroler Landesregierung aus dem Jahr 2016 (Abb. 5).

Obwohl die Holz-Erntemenge in Tirol noch ausbaubar wäre, soll vor dem Hintergrund des beobachtbaren Agrarstrukturwandels sowie der Rahmenbedingungen am Holzmarkt in Abstimmung mit der Abt. Waldschutz bis zum Jahr 2050 von einem konstanten nutzbaren Holz-Energiepotenzial in einer Größenordnung von rund 4.260 GWh/a bzw. **rund 15.300 TJ/a** ausgegangen werden. Dieser Wert versteht sich vorbehaltlich eventueller tiefgreifender Änderungen in der Tiroler Holzindustrie aufgrund des europäischen Holzmarktes sowie vorbehaltlich großer Schladereignisse, welche regional kurzfristig zu einer sehr hohen Mobilisierungsrate führen können.

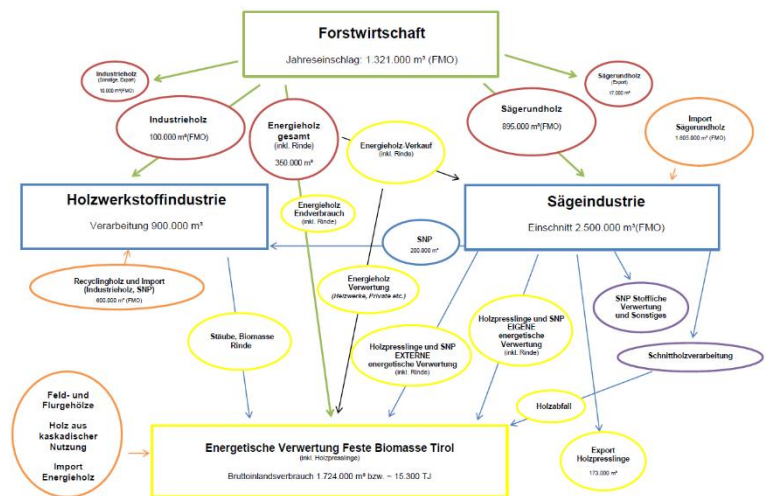


Abb. 5: Holzflussbild Tirol.

8.3.2 Biogas

Biogas kann aus verschiedenen Substraten und Ausgangsstoffen gewonnen werden. Im Sinne einer nachhaltigen Biomethanproduktion werden im Rahmen der gegenständlichen Studie ausschließlich Rest- und Abfallstoffe in der Potenzialerhebung berücksichtigt.



LINDORFER et al. (2017) haben auf Basis verfügbarer Daten des Jahres 2015 das Methanertragspotenzial bundesländerbezogen für Österreich quantifiziert – unterschieden nach Potenzialen u.a. aus

- **Biogenen Abfällen** (Biotonne, Grünschnitt, Hauskompostierung und Lebensmittelabfälle im Restmüll),
- **Wirtschaftsdünger**,
- **Klärgas**,
- **Nachwachsenden Rohstoffen** (Getreidestroh, Maisstroh, Rapsstroh und Rübenblatt) und
- **Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie.**

Folgende Rahmenbedingungen wurden dabei berücksichtigt:

- Einschränkungen im Potenzial aufgrund von Konkurrenznutzungen und anderen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie technische Restriktionen wurden nicht berücksichtigt.
- Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen wurden bis 2050 als konstant angenommen – das heißt, es wurden keine grundlegenden Änderungen in der Wirtschaftsstruktur angenommen.
- Berücksichtigung fanden jedoch u.a. die wirtschaftliche Entwicklung im Sinne sich ändernder Viehbestandszahlen sowie die demographische Entwicklung im Sinne sich ändernder Bevölkerungszahlen.

Biogene Abfälle

LINDORFER et al. (2017) weist unter „Biogenen Abfällen“ die Fraktionen „Biotonnenmaterial“, „Grünschnitt“, „Küchen- und Speiseabfälle aus der Außer-Haus-Verpflegung“ sowie „Biogene Abfälle aus der Hauskompostierung“ und „Lebensmittelabfälle im Restmüll“ zusammen.

Prognosezahlen wurden anhand der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung abgeleitet. Konkurrenznutzungen (z.B. Kompostierung), Problemstellungen bei Sammlung und Mobilisierung oder auch Trennung (insbesondere bei Lebensmittelabfällen im Restmüll) wurden bei LINDORFER et al. (2017) nicht berücksichtigt.

Um ein realistisch nutzbares Potenzial für die gegenständliche Studie abzuleiten, wurden die Fraktionen „**Biogene Abfälle aus der Hauskompostierung**“ und „**Lebensmittelabfälle im Restmüll**“ **vernachlässigt**, da diese nicht in absehbarer Weise für die energetische Nutzung in Tirol in nennenswertem Ausmaß zur Verfügung stehen werden.

Für Tirol stehen demnach rund 17,9 Mio. Nm³ im Jahr 2015 und rund 20,5 Mio. Nm³ im Jahr 2050 an Methanertrag zur Verfügung. Der Energiegehalt des Methanertragspotenzials beträgt demnach im Jahr **2015 rund 643 TJ**, in **2050 rund 734 TJ**.

Wirtschaftsdünger

Das Energiepotenzial aus Wirtschaftsdünger wird aus anfallender **Gülle und Festmist** von Rindern, Schweinen, Hühnern und Pferden von Landwirtschaftsbetrieben mit einem Tierbestand von **mindestens 50 Großvieheinheiten** gemäß LINDORFER et al. (2017) abgeschätzt.

In Summe wird für das Jahr 2015 ein Methanertragspotenzial in Höhe von rund 17 Mio. Nm³ ausgewiesen, welches sich bis zum Jahr 2050 aufgrund der **rückläufig prognostizierten Tierbestandszahlen** (v.a. Rinder und Schweine) auf rund 13 Mio. Nm³ reduzieren soll.

Der Energiegehalt des Methans aus Wirtschaftsdünger in Tirol wird für **2015** mit **rund 611 TJ** beziffert und reduziert sich bis zum Jahr **2050** auf **rund 465 TJ**.

Klärschlamm

Derzeit findet gemäß BMLFUW (2014) eine nahezu gänzliche Verwertung des Klärschlammes durch Deponierung, Verbrennung, Kompostierung etc. statt.

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird davon ausgegangen, dass das Potenzial des an Kläranlagen anfallenden Klärschlammes durch Neugestaltung der Stoffflüsse und Verwertungswege mobilisiert werden wird. Die Prognose des Potenzials basiert insbesondere auf der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung, so dass für Tirol **steigende Methanertragspotenziale** zwischen 2015 und 2050 ausgewiesen werden.

Gemäß LINDORFER et al. (2017) betrug das Methanertragspotenzial in 2015 in Tirol rund 7 Mio. Nm³. Für 2050 werden 8 Mio. Nm³ prognostiziert. Dies entspricht einem Energiegehalt von **253 TJ in 2015** und **289 TJ im Jahr 2050**.

Nachwachsende Rohstoffe (Getreidestroh, Maisstroh, Rapsstroh, Rübenblatt)

Das Rohstoffpotenzial an Nachwachsenden Rohstoffen umfasst im Rahmen dieser Studie in Anlehnung an LINDORFER et al. (2017) Getreide,- Mais-, Rapsstroh sowie Rübenblätter.

In Tirol stehen gemäß LINDORFER et al. (2017) Reststoffe der Pflanzenproduktion nur **in sehr geringem Maße** zur

Verfügung. In Summe wird für das Jahr 2015 ein Methanertragspotenzial in Höhe von rund 200.000 Nm³ ausgewiesen, welches sich bis zum Jahr 2050 aufgrund eines **prognostizierten Rückgangs der Getreideanbauflächen** auf rund 175.000 Nm³ reduzieren soll.

Der Energiegehalt des Methans aus den o.g. landwirtschaftlichen Rohstoffen wird für **2015 mit rund 7 TJ** beziffert und reduziert sich bis zum Jahr **2050 auf rund 6 TJ**.

Reststoffe aus der Lebensmittelproduktion

Eine belastbare Aussage zur Entwicklung der Nahrungs- und Genussmittelproduktion in Österreich und somit auch in Tirol ist nach LINDORFER et al. (2017) nicht möglich, weshalb dort auf eine Prognose der anfallenden Reststoffe der Lebensmittelindustrie (inklusive auch Abfälle aus der Fleisch- und Milchverarbeitung) verzichtet wird und stattdessen von in etwa gleichbleibenden Verhältnissen von 2015 bis 2050 ausgegangen wird. Das derart abgeschätzte österreichweit vorliegende Methanertragspotenzial von rund 271 Mio. Nm³ lässt sich jedoch auf Grundlage verfügbarer Daten nicht auf Bundesländer zuordnen, weshalb für Tirol im Rahmen der gegenständlichen Studie **kein Methanertragspotenzial ausgewiesen** werden kann.

Zusammenfassung

Tab. 2 zeigt die ausgewiesenen realistisch nutzbaren Methanertragspotenziale in ausgewählten Jahren zwischen 2015 und 2050 basierend auf den Erhebungen und Annahmen von LINDORFER et al. (2017). Es sei angemerkt, dass nur schwer erfassbare Substrate wie die derzeit zur **Hauskompostierung** oder **im Restmüll befindlichen Fraktionen** sowie auch **Substrate der Lebensmittelindustrie** in der Potenzialerhebung der gegenständlichen Studie **nicht berücksichtigt** wurden – ebenso wenig wie anfallender Wirtschaftsdünger von Höfen mit weniger als 50 Großvieheinheiten, bei denen eine wirtschaftliche Nutzung des Substrats zur Biogaserzeugung aufgrund der zu geringen Mengen nicht gegeben erscheint.

Tab. 2: Methanertragspotenziale [TJ] in Tirol (gerundet).

[TJ]	2015	2016	2020	2030	2040	2050
Biogene Abfälle*	643	649	674	708	721	734
Wirtschaftsdünger**	611	607	590	551	508	465
Klärschlamm	253	256	265	279	284	289
Nachwachsende Rohstoffe	7	7	7	7	7	6
Summe	1.514	1.519	1.536	1.546	1.520	1.495

* ohne Hauskompostierung, Lebensmittelindustrie und Abfälle aus Restmüll

** für Höfe mit mehr als 50 Großvieheinheiten

Datengrundlage: LINDORFER et al. (2017).

8.4 Umweltwärme (Grundwasser, Erde, Luft)

Umweltwärme im Rahmen der gegenständlichen Studie bezieht sich auf Grundwasser, Erdwärme (oberflächennahe Geothermie) sowie Luft. Die Nutzung der Umweltwärme kann über den Einsatz von **Wärmepumpen** erfolgen.



8.4.1 Grundwasser

Das nutzbare Umweltwärme-Potenzial aus Grundwasser wird im Rahmen der gegenständlichen Studie als das nutzbare Wärmepotenzial aus Grundwasserkörpern Tirols **bis in eine Tiefe von 25 m** unter der Geländeoberkante verstanden, welches mittels Wärmepumpentechnologie gehoben werden kann. Zur Quantifizierung des Grundwasser-Wärmepotenzials wird auf die Studie „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018) verwiesen.

Zur Abschätzung des nutzbaren Wärmepotenzials wurden im Rahmen der gegenständlichen Studie die ausgedehnten, oftmals zusammenhängenden **Grundwasserkörper in den größeren Tälern Tirols** analysiert. Kleinräumige, lokal eng begrenzte Grundwasserkörper sowie jene in Höhenlagen von mehr als 1.400 m ü.d.A. (Temperaturniveau) wurden nicht berücksichtigt. Die Potenzialermittlung erfolgte über die **Berechnung von Grundwasserströmen und Thermalfrontenlängen** nach dem Verfahren von INGERLE (1988) unter Berücksichtigung des ÖWAV-Regelblatts 207 (ÖWAV 2009).

Das ermittelte nutzbare Grundwasser-Wärmepotenzial beträgt **2.877 TJ/a¹**.

8.4.2 Erde

Mittels vertikal abgeteufter Erdwärmesonden bzw. horizontal verlegter Erdkollektoren kann die in der Erde bis in eine Tiefe von rund 400m gespeicherte und sich aus tieferen Zonen permanent erneuernde Wärme genutzt werden. Wärmepumpenanlagen zur Nutzung dieser oberflächennahen Geothermie können an nahezu jeder Stelle und in verschiedenster Tiefenlage installiert werden, weshalb in der gegenständlichen Studie darauf verzichtet wird, das theoretisch **nahezu unbegrenzt** vorhandene nutzbare Wärmepotenzial zu quantifizieren.

8.4.3 Luft

Der Wärmeträger Luft steht aufgrund der permanenten Luftbewegung überall stets in ausreichender Menge zur Verfügung. Zwar reduziert sich mit abnehmender Lufttemperatur die Effizienz von Luftwärmepumpen, jedoch verzeichnet die Luftwärmepumpe aufgrund der relativ günstigen Errichtungskosten gegenüber Grundwasser- und Erdwärme-Wärmepumpenanlagen in den vergangenen Jahren eine steigende Beliebtheit. Aufgrund des de facto unerschöpflichen Energiedargebots aus der Luft wird in der gegenständlichen Studie auf eine Quantifizierung nutzbaren Luftwärme-Potenzials verzichtet.

¹ Belastbare Informationen zu tatsächlichen Grundwassertemperaturen im Jahresverlauf liegen lediglich für wenige Stellen vor. Demnach sind die auf Annahmen basierenden Potenziale mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten. Die tatsächlichen nutzbaren Wärmepotenziale können daher vom ausgewiesenen Wert mehr oder weniger deutlich abweichen.

8.5 Tiefengeothermie



Die Tiefengeothermie umfasst das Energiedargebot in den tieferen Erdschichten **unterhalb von 400m**, ab wo etwa Temperaturen um 20 °C herrschen. Grundsätzlich kann über Tiefbohrungen die geothermische Energie erschlossen werden, welche auch direkt – das heißt ohne Wärmepumpen – genutzt werden kann. Mit Verfahren wie dem „Hot-Dry-Rock-Verfahren“ können Gesteinsschichten in 4.000 bis 5.000 Meter Tiefe quasi als Durchlauferhitzer genutzt werden. Dabei wird Wasser mit hohem Druck in Spalten heißer Gesteinsschichten gepresst, wo es sich erhitzt und zur Erdoberfläche gefördert wird, um dort zur großräumigen Wärmeversorgung und/oder Stromerzeugung genutzt zu werden. Das abgekühlte Wasser wird anschließend wieder in den Untergrund zurückgeführt.

Tirol weist **aktuell** fünf Tiefbohrungen auf, die jedoch **energetisch nicht genutzt** werden. Auch über Pläne zur energetischen Nutzung der Tiefengeothermie in Tirol liegen keine Informationen vor. Daher wird im gegenständlichen Bericht auch bis 2050 nicht von einer energetischen Nutzung der Tiefengeothermie in Tirol ausgegangen und das **nutzbare Potenzial** damit als **nicht gegeben** angesetzt.

8.6 Wind



Zur Klärung von möglichen Windkraft-Potenzialen und offenen Fragen in Bezug auf die Bewilligung für Windkraftanlagen hat der Tiroler Landtag am 09. Mai 2012 eine Studie über die Grundlagen zur Nutzung von Windenergie in Tirol beschlossen.

Die beauftragte Steuerungsgruppe präsentierte im Jahr 2013 die Windpotenzialstudie „Windenergie in Tirol“, die unter Berücksichtigung verschiedener Restriktionen wie z.B. Hangneigungen, Schutzgebietsflächen, Erschließbarkeit und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ein **nutzbares Windenergiepotenzial** für Tirol in der Größenordnung von **200 bis 300 GWh/a** (720 bis 1080 TJ/a) ausweist (AdTLR 2013). Hierzu wären gemäß Studie rund 50 bis 75 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 100 bis 150 MW nötig (WINKELMEIER et al. 2014). Allen ausgewiesenen Potenzialflächen ist gemein, dass sich deren Lage jeweils oberhalb 1.800 m ü.d.A. befindet, wodurch die Zugänglichkeit zumindest erschwert ist. Für **Tallagen** wurde **kein nennenswertes Potenzial** ausgewiesen.

Im Rahmen der gegenständlichen Studie wird in Anlehnung an AdTLR (2013) von einem nutzbaren Wind-Potenzial von **900 TJ/a** ausgegangen.

8.7 Industrielle Abwärme



Die Nutzung der industriellen Abwärme spielt vor dem Hintergrund einer möglichst optimalen kaskadischen Nutzung der heimischen Energiere Ressourcen unter anderem auch im Bereich der Energie-raumplanung zur zukünftigen Wärmebereitstellung eine wichtige Rolle.

Der **Abwärmekataster Tirol** erhob im Jahre 2009 erstmalig die anfallende nutzbare Abwärme von Industriebetrieben im Tiroler Zentralraum zwischen Kufstein und Telfs (WASSER TIROL et al. 2009). Hierbei wurde ein Abwärmepotenzial in einer Größenordnung von rund 515 GWh/a (davon rund 80 % im Bereich Niedertemperatur und 20 % im Bereich Hochtemperatur) erkannt, welches heute bereits teilweise genutzt wird (z.B. Einspeisung von Abwärme in die Fernwärmeschiene Wattens – Innsbruck oder auch in das Fernwärmenetz Kundl).

Das Abwärme-Potenzial wird im Rahmen der gegenständlichen Studie aus den verbleibenden Potenzialen des Abwärmekatasters der Teilgebiete Schwaz-Jenbach, Strass-Brixlegg sowie Kufstein West abgeleitet und um erkannte Potenziale des Projekts „Wie heizt Tirol 2050?“ (THALHEIM 2019) v.a. in den Gemeinden Kundl und Wörgl ergänzt.

Demnach summieren sich die heute nutzbaren Abwärmepotenziale auf **rund 500 TJ/a**.

Trotz eines prognostizierten Wirtschaftswachstums bis zum Jahr 2050 wird das Abwärmepotenzial aufgrund einer angenommenen verstärkten innerbetrieblichen Nutzung der Abwärme in den Produktionsprozessen sowie umgesetzter Energieeffizienzmaßnahmen bis zum Jahr 2050 als konstant angesetzt.

8.8 Abfälle

Mit der thermischen Behandlung von Abfällen zur Wärme- und Stromgewinnung in Tirol beschäftigten sich Anfang der 2000er Jahre verschiedene Studien und Konzepte (IUT 2003, RECHNUNGSHOF ÖSTERREICH 2006, TB HAUER 2010).



Gegenwärtig wird der in Tirol anfallende Abfall überwiegend zur **Müllverbrennungsanlage** Dürnrohr und zur **Reststoffverwertung** Lenzing gebracht (BMNT 2018). Lediglich der Abfall des Bezirks Reutte wird nach Deutschland zum Müllheizkraftwerk der ZAK Kempten verbracht (RECHNUNGSHOF ÖSTERREICH 2017).

Zur methodischen Herangehensweise für die Ausweisung des in Tirol verfügbaren Potenzials aus Abfall wird auf die Studie „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018) verwiesen. Grundsätzlich wurden die tirolweit anfallenden und thermisch verwendbaren Abfallmengen sowie spezifische Heizwerte der zur thermischen Behandlung geeigneten Müllfraktionen analysiert.

Für das Jahr 2016 wurde ein nutzbares Wärmepotenzial aus Abfall in Höhe von 1.975 TJ/a ausgewiesen.

Die Ausweisung der im Jahre 2050 anfallenden und thermisch zu verwertenden Abfallmengen und somit auch des Potenzials wurde entsprechend der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung unter Rückgriff auf das aktuell spezifische Abfallaufkommen je Einwohner vorgenommen. Die tatsächlich verfügbare Abfallmenge hängt jedoch maßgeblich auch von den **Sammel- und Trennaktivität** der Bevölkerung und der **Abfallbehandlung** sowie dem grundsätzlichen **Einsatz von Materialien** in der Produktion ab.

Für das Jahr 2040 ergibt sich ein theoretisches Wärmepotenzial (Heizwert) des kommunalen Haus- und Sperrmülls sowie der betrieblichen, zur thermischen Verwertung geeigneten Abfallmengen in Höhe von 2.178 TJ, für das Jahr 2050 in Höhe von **2.262 TJ/a**.

Eine konkrete Nutzung – insbesondere der Siedlungsabfälle – ist derzeit nicht absehbar.

8.9 Überblick Energetisch nutzbares Potenzial 2050

Einen Überblick über die energetisch nutzbaren Ressourcenpotenziale Tirols für die Jahre 2040 und 2050 bietet Tab. 3.

Tab. 3: Überblick über energetisch nutzbare Potenziale Tirols 2040 und 2050.

	2040	2050
Wasserkraft*	33.991 TJ	33.991 TJ
Photovoltaik**	15.700 TJ	15.700 TJ
Biomasse Holz	15.300 TJ	15.300 TJ
Umweltwärme Grundwasser	2.877 TJ	2.877 TJ
Umweltwärme Erde	theor. unbegrenzt	theor. unbegrenzt
Umweltwärme Luft	theor. unbegrenzt	theor. unbegrenzt
Abfall	2.178 TJ	2.262 TJ
Solarthermie***	2.200 TJ	2.200 TJ
Biogas	1.520 TJ	1.495 TJ
Wind	900 TJ	900 TJ
Industrielle Abwärme	500 TJ	500 TJ
Tiefengeothermie	voraussichtlich nicht genutzt	voraussichtlich nicht genutzt

* begrenzt gemäß Zielsetzung Deklaration „Gemeinsames Verständnis zur künftigen Wasserkraftnutzung in Tirol“ (AbTLR 2011).

** 95% der Dachflächen

*** 5% der Dachflächen

9 WIRKUNGSGRADE UND VERLUSTE AUF EBENE DER SEKUNDÄRENERGIE

9.1 Wirkungsgrade in der Erzeugung / Ebene Sekundärenergie

Tab. 4 gibt einen Überblick auf für Tirol interessante Umwandlungstechnologien (Primär- zu Sekundärenergie) mit Angabe der in gegenständlicher Studie hinterlegten Wirkungsgrade.

Tab. 4: Übersicht der Umwandlungstechnologien und deren Wirkungsgrade.

Eingesetzte Energieträger	Technologie	Sekundärenergie	Wirkungsgrad Umwandlung	Bemerkung
Strom	Pumpspeicherkraftwerk	Strom	75,8%	vgl. Mitt. TIWAG, Verbund
Wasserkraft, Sonnenenergie	Power to Gas – Wasserstoff Alkalische- und PEM- Wasserelektrolyse	Wasserstoff	45% -55%	Systemwirkungsgrade 2030-2050; inkludiert Wasser- und Gasaufbe- reitung, Kompression und sonstige Peripherie (inkl. Verteilung und Speicherung)
Wasserkraft, Sonnenenergie	Power to Gas – Synth. Methan	Methan	41%	
Biomasse Holz	Heizwerk	Wärme	90% _{th}	Dezentrale Holzvergasungs- anlagen mit BHKW
	KWK (Holzvergasung)	Strom, Wärme, Biokohle	23% _{el} 44% _{th (HT)} 17% _{th (NT)} 10% _{Kohle}	
	Pyrolyse	Biokohle	45%	
Strom	Power to Liquid	Synthetische Fuels	20%	
Biogas	Fermentation	Strom, Wärme	25% _{el} 55% _{th}	BHKW, kaum Bedeutung aufgrund Eigenbedarf der Anlagen
	Heizwerk	Wärme	95% _{th}	kaum Bedeutung
Brennbare Abfälle	Heizwerk	Wärme	90% _{th}	Keine Müllverbrennungsanlage in Tirol

9.1.1 Wasserkraftwerke

Entstehende Verluste von mechanischer Energie auf elektrische Energie werden definitorisch nicht angesetzt.

9.1.2 Pumpspeicherkraftwerke

Pumpspeicherkraftwerke sind sehr effiziente Anlagen, jedoch treten nicht vermeidbare Pumpspeicherverluste im Mittel von etwa 24,2% auf. Der angesetzte mittlere Wirkungsgrad beträgt 75,8%.

9.1.3 Power to Gas – Wasserstoff

Für die Erzeugung von Wasserstoff wird elektrische Energie benötigt. Diese Energie wird einerseits für die Elektrolyse selbst, aber auch für den Betrieb einer Vielzahl von Nebenaggregaten (z.B. Umkehrosmose-Anlage zur Wasseraufbereitung, Pumpen, Verdichter, etc.) benötigt. Dadurch ergibt sich allein für die Erzeugung je nach Elektrolyse-Technologie, Anlagengröße und betrachteter Systemgrenze ein theoretischer Wirkungsgrad (Strom zu Heizwert) von 40 bis 60 % (BUTTLER et al. 2018). Hinzu kommen noch Verluste für Speicherung und Transport, die je nach Dauer der Speicherung und Art des Transportes stark variieren können.

Die beiden **kommerziell ausgereiftesten** Technologien sind die **alkalische Wasserelektrolyse** (AWEL) sowie die **PEM** (Proton Exchange Membrane)-**Wasserelektrolyse** (PEMWEL). Beide Technologien zählen zur Niedertemperaturelektrolyse. Hochtemperaturelektrolyseure sind kommerziell noch nicht ausgereift und werden deshalb hier nicht weiter betrachtet.

Für die Erzeugung von Wasserstoff in den beschriebenen Energieszenarien wurden folgende Rahmenbedingungen angesetzt:

- Bezugsgröße des Wasserstoffs: **Heizwert** (33 kWh/kg) (bezogen auf den unteren Heizwert (LHV))
- **Systemwirkungsgrad von 55% (2030) bis 60% (2050) (vor Transport)** beinhaltet folgende Annahmen:
 - Wasserstoffherzeugung durch Niedertemperatur-Elektrolyse (keine Abwärme-Auskopplung),
 - Energiebedarf für Nebenaggregate und Gasaufbereitung wurde berücksichtigt,
 - Im Teillastbetrieb erreichen manche Elektrolyseure schlechtere (AWEL) und manche bessere (PEMWEL) Wirkungsgrade.
- Gemittelter Wert für unterschiedliche **Transport- und Speicherverluste betragen 10%**
 - Kompression auf 200 - 700 bar (Transport mittels Flaschenbündel),
 - Kompression auf 60 bar (Transport mittels Pipeline),
 - Verflüssigung des Wasserstoffs (Transport mittels Kryotanks, hierfür wird derzeit noch wenig Potenzial in Tirol gesehen),
 - Speicherverluste für kurz- bis mittelfristige Speicherung.

Daraus ergibt sich ein **gemittelter Systemwirkungsgrad von 45-55 %** für eine dezentrale Wasserstoff-Infrastruktur. Es kann davon ausgegangen werden, dass es in der Zukunft weiterhin zu einer Nutzung von beiden Wasserelektrolyse-Technologien kommen wird. Findet eine Kopplung an erneuerbare Energiequellen statt, ist es wahrscheinlicher, dass sich dafür die PEM-Elektrolyse durchsetzt. Da derzeit sehr viel Forschung und Entwicklung im Bereich Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse stattfindet, könnten sich die angeführten Richtwerte als zu konservativ herausstellen und wären dementsprechend regelmäßig zu überprüfen und anzupassen.

9.1.4 Power to Gas – synth. Methan

Bei der chemischen Synthese von Methan reagieren Wasserstoff und Kohlendioxid bei 250 bis 500 °C und 5 bis 30 bar Betriebsdruck – idealerweise in einem mehrstufigen Prozess. Für ein Energiesystem auf Basis von Power-to-Gas Methan bedeutet dies, dass elektrische Energie für die Erzeugung von Wasserstoff, elektrische und thermische Energie für die Gewinnung von reinem CO₂ und elektrische Energie für die Aufbereitung des Produktgases bis zur Einspeisung in ein Gasnetz benötigt wird. Aus dem Methanisierungsprozess kann Wärme für die Desorption

von CO₂ zurückgewonnen werden, was die Energiebilanz des Systems verbessert. Der gesamte Prozess mit allen vorgelagerten Prozessen ist sehr komplex und die Systemgrenzen bei der Betrachtung der Wirkungsgrade nicht immer klar definiert, weshalb in der gegenständlichen Studie angenommen wird, dass bei einem eingesetzten Verhältnis von 83% elektrischer Energie sowie 17% Fernwärme eine Ausbeute von 41% der Energie in Form erreicht werden kann, was **Umwandlungsverlusten von 59%** entspricht. Die Fernwärme stellt in dieser Annahme die benötigte thermische Energie bereit, um die Reaktion zu ermöglichen.

Für die Erzeugung von Power-to-Gas Methan in den gegenständlichen Energieszenarien wurden folgende Rahmenbedingungen gesetzt:

- Bezugsgröße des Methans: **Heizwert** (10 kWh/m³ bei Normdruck)
- **Systemwirkungsgrad von 41 %** (bezogen auf eingesetzte Energie) beinhaltet folgende Annahmen:
 - Wasserstoffherzeugung durch Niedertemperatur-Elektrolyse AWEL oder PEMWEL,
 - Elektrolyse und anschließende Methanisierung befinden sich direkt an Wärme- und CO₂-Quelle,
 - 2-stufiger Methanisierungsprozess bei 10 bar / 300 °C,
 - Energiebedarf für Nebenaggregate und Gasaufbereitung wurde berücksichtigt,
 - Wärmerückgewinnung (Temperatur > 95 °C) aus Methanisierungsprozess für Desorption von CO₂ und Produktvorwärmung,
 - Restliche thermische Energie für den Prozess (> 95 °C) wird durch Fernwärme aus Holzbiomasse bereitgestellt,
 - Interne Kompressionsprozesse,
 - Berücksichtigung von Wirkungsgradeinbußen durch Teillastbetrieb.
- Transport- und Speicherverluste (bestehende Gas-Pipelines) rund **3 %-Punkte**.

Als Wärme- und CO₂-Quelle könnten Biomasse-Kraftwerke sowie diverse Industrieprozesse dienen. Durch die direkte Kopplung der Elektrolyse- sowie Methanisierungsanlage entfällt der Zwischenschritt der Kühlung und Kompression, was zu einer leichten Effizienzsteigerung führt.

Unter Einbeziehung der Speicher- und Transportverluste ergibt sich ein **gemittelter Systemwirkungsgrad von 38 %** (bezogen auf die eingesetzte Energie) für eine dezentrale Power to Gas-Methan-Infrastruktur.

9.1.5 Biokohle

Abseits des Einsatzes von Kohle in kalorischen Kraftwerken zur Stromerzeugung ist Kohle auch ein wichtiges Edukt in verschiedenen Industrieprozessen. Beispielsweise wird Kohle bzw. der aufbereitete Koks in metallurgischen Prozessen als Reduktionsmittel eingesetzt. Auch die Aufbereitung zu Aktivkohle wird zunehmend interessanter, da diese eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten bietet – beispielsweise als Adsorptionsmittel in chemischen Prozessen, bei der Trinkwasseraufbereitung, als Geruchsfilter usw.

Es wird aus heutiger Sicht nicht davon ausgegangen, dass eine großindustrielle Produktion von Biokohle in Tirol stattfinden wird, stattdessen wird sie als **wertvolles Nebenprodukt in Prozessen** wie der **Holzvergasung** oder der reinen **Holzpyrolyse** anfallen. Transport- und Speicherverluste werden wegen einfacher Lagerung vernachlässigt.

Biokohle aus Holzvergasung

Bei der Holzvergasung fällt neben Strom und Wärme auch Biokohle als wertvolles Nebenprodukt in der Größenordnung von **rund 10 %** an.

Biokohle aus Holzpyrolyse

Neben der Holzvergasung kann Biokohle aus Holz auch durch reine Pyrolyse erzeugt werden. Vereinfacht handelt es sich dabei um einen unvollendeten Vergasungsprozess, bei dem nur eine Trocknung und Pyrolyse stattfinden, jedoch keine Oxidations- und Reduktionsvorgänge. Es ergeben sich etwa 25 % der Masse des vorgetrockneten Holzes als Biokohle, die restlichen 75 % werden zu Pyrolysegas umgewandelt. Der Heizwert des Feststoffes steigt durch die Pyrolyse von ca. 18 MJ/kg (Holz) auf 32 MJ/kg (Biokohle). Es wird ein chemischer Wirkungsgrad von etwa **44-45 %** erreicht (Biokohle), je nach System gehen 1-2 % für Hilfsenergien verloren. Die restliche Energie wird in Form von Pyrolysegas zur Aufrechterhaltung der benötigten thermischen Energie rückgeführt, wodurch es sich um einen insgesamt sehr effizienten Prozess handelt.

9.1.6 Biofuels und synthetische Fuels

Biofuels (Biodiesel bzw. Fettsäuremethylester) sowie synthetisch erzeugte Treibstoffe (Benzin, Diesel aus Fischer-Tropsch-Verfahren (FTV)) aus nachhaltigen Ressourcen stellen eine Möglichkeit dar, insbesondere den Flugverkehr ökologischer zu gestalten.

Biofuels werden in Tirol keine Bedeutung beigemessen, da die nötigen landwirtschaftlichen Anbauflächen nicht vorhanden sind. Ein Bedarf an flüssigen Treibstoffen kann daher mit synthetischen Treibstoffen abgedeckt werden. Für die Erzeugung einer Energieeinheit an synthetischem Fuel muss die **fünffache Menge** an Ausgangsenergie aufgewandt werden.

Im Rahme der gegenständlichen Studie wird davon ausgegangen, dass die **Produktion** der synthetischen Fuels **nicht in Tirol** stattfinden wird, da entsprechende Anlagen sehr teuer sind und außerhalb Tirols bereits vorhanden sind – z.B. OMV-Raffinerien in Niederösterreich. Somit werden die Erzeugungsverluste im Ausmaß von **80%** nicht in Tirol anfallen. Um die Energiebilanzen jedoch richtig – das heißt gesamthaft – darzustellen, werden die für eine Erzeugung notwendigen Energiemengen in den gegenständlichen Szenarien als Kompensationsenergie berücksichtigt. Der angesetzte Strombedarf entspricht dabei den üblichen Mengen, die für eine moderne Produktion von Flüssigkraftstoffen benötigt werden (z.B. FTV). Transport- und Speicherverluste können aufgrund einfacher Lagerungsmöglichkeiten vernachlässigt werden.

9.1.7 Kraftwerke

Kraftwerke zur reinen Stromproduktion werden nur vollständigheitshalber erwähnt und **spielen** für die Energieautonomie von Tirol aufgrund ihrer ökologischen und ökonomischen Kennwerte voraussichtlich **keine Rolle**. Durch die Nicht-Nutzung der entstehenden Wärme ist diese Art der Energieerzeugung sehr ineffizient. So kann beim Einsatz von Holz oder Biogas als Energieträger etwa **35%** der eingesetzten Energiemenge in Strom umgewandelt werden – **65%** werden als Verluste in die Umgebung abgegeben.

9.1.8 Heizwerke

Heizwerke spielen eine **bedeutende Rolle** in der regionalen Wärmeversorgung und werden oft von Kommunen und bürgerlichen oder sonstigen Genossenschaften betrieben. Bei einem Einsatz von Holz in den Biomassekesseln können in etwa **90%** der eingesetzten Energie in Wärme umgesetzt werden, etwa **10%** gehen ungenutzt verloren. Beim Einsatz von Biogas kann ein Nutzungsgrad von **95%** Wärme bei nur **5%** unbedingten Verlusten erreicht werden.

9.1.9 Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung

Die zu bevorzugende Variante ist es, Anlagen zur Energiegewinnung mit einer **Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)** auszustatten, somit also sowohl **elektrische Energie** in Form von Strom als auch **thermische Energie** in Form von Wärme zu produzieren. Auf drei Varianten soll hier insbesondere verwiesen werden:

- Holz als Energieträger im **ORC-Verfahren** (Organic Rankine Cycle)
Beim ORC-Verfahren kommt ein organisches Lösungsmittel als Arbeitsmedium zum Einsatz. Meistens ist dies der Fall, wenn die Temperaturdifferenz der Wärmequelle nicht ausreicht, um Wasserdampf für die Dampfturbine zu erzeugen. Bezogen auf die eingetragene Energie können in etwa **12%** Strom und **78%** Wärme erzeugt werden – bei **10%** Umwandlungsverlusten.
- Holz als Energieträger im **Standard-Verfahren mit Wasserdampf als Arbeitsmedium**
In diesem bevorzugten Verfahren können bezogen auf die eingetragene Energie in etwa **25%** Strom und **65%** Wärme erzeugt werden – bei **10%** Umwandlungsverlusten.
- **Biogas** als Energieträger
Hier liegt der Fokus auf der motorischen Nutzung nach der KWK-Anlage, da in etwa **38%** Strom und **52%** Wärme erzeugt werden – bei **10%** Umwandlungsverlusten.

Holzvergasung

Eine besonders interessante Art der KWK-Technologien stellt die Holzvergasung dar. Dabei findet ein thermochemischer Prozess unter Sauerstoffmangel statt, bei dem aus Holz ein energiereiches Produktgas entsteht (Holzgas).

Es handelt sich um eine **effiziente Technologie mit einem hohen Nutzungsgrad**. Durch Kopplung des Holzvergasers an Blockheizkraftwerke können Strom, Hochtemperaturwärme (HTW) und Niedertemperaturwärme (NTW) gewonnen werden. Im Durchschnitt kann aus der eingesetzten Energie **23 %** Strom, **44 %** HTW und **17 %** NTW gewonnen werden. Der Strom kann dabei für den Eigenverbrauch genutzt oder in das Stromnetz eingespeist werden. Die Hochtemperaturwärme kann für ein Fernwärmenetz genutzt werden. Die Niedertemperaturwärme kann z.B. für die Trocknung des eingesetzten Holzes dienen.

Weiters entsteht durch die Vergasung **hochwertige Biokohle**, welche etwa **10 %** des Energieanteiles ausmacht. Biokohle kann – wie in Kap. 9.1.5 erwähnt – vielseitig eingesetzt werden. Die **Umwandlungsverluste** in einer modernen Holzvergasungsanlage belaufen sich auf etwa **6 %**.

9.2 Leitungs- und Verteilverluste

9.2.1 Strom

Gemäß Mitteilung der AUSTRIAN POWER GRID AG (2020) betragen die Netzverluste bei der Stromübertragung je nach Netzfunktion und Übertragungsebene zwischen 1 und 7 %. Für die **Hoch- und Mittelspannungsebene** wurden als Leitungsverluste als gemittelter Wert **2 %**, für die **Niederspannungsebene** **5 %** angenommen.

9.2.2 Fernwärme

Für die Verteilung von Fernwärme wurden durch das Projektkonsortium in den ausgearbeiteten Szenarien Verluste in Höhe von **15 %** angesetzt.

9.2.3 Synth. Methan

Die primäre Verteilung von Erdgas erfolgt in Österreich via Pipelines. Laut einem Erdgas-Energieflussbild Österreich für das Jahr 2017, das auf Daten der Statistik Austria (Gesamtenergiebilanz Österreich 1970 bis 2017) beruht, wird der „nicht energetische Verbrauch sowie Umwandlungs- und Transportverluste“ mit 14 PJ ausgewiesen. Dies entspricht bei einem Primärenergieeinsatz von 526 PJ rund 2,7 %.

In Anlehnung an die Veröffentlichungen der Statistik Austria wurden für die gegenständlichen Szenarien vom Projektkonsortium die Leitungs- und Verteilverluste von synthetischem Methan auf **3 %** angesetzt.

9.2.4 Wasserstoff

Transportverluste können für Wasserstoff nicht pauschalisiert werden, da es mehrere Transporttechnologien gibt und sich diese teilweise deutlich unterscheiden. Transportbeispiele wären komprimiertes Gas, gekühltes Flüssiggas, in Hydrid-Form oder eingespeist in Gas-Pipelines. Wenn beispielsweise das österreichische Gasnetz genutzt werden sollte, müsste – um dieselbe Energiemenge (volumensbezogen) zu erhalten – die dreifache Menge an Wasserstoff eingespeist werden, da Wasserstoff einen deutlich geringeren volumenbezogenen Heizwert aufweist. Die Verluste im Gasnetz selbst sind bei Wasserstoff auch höher als bei Methan, wenn am Gasnetz keine technischen Änderungen durchgeführt werden. Die erhöhten Verluste ergeben sich durch die hohe Diffusionsfähigkeit von Wasserstoff. Gemäß SHINNAR (2003) muss man in konventionellen Erdgas-Pipelines mit Verlusten rechnen, die bei Wasserstoff um den Faktor 3,4 größer als bei Erdgas/Methan sind.

Es erscheint unwahrscheinlich, dass in Zukunft die bestehenden Erdgasleitungen dazu verwendet werden, reinen Wasserstoff zu transportieren, da dies – zumindest bisher – rechtlich nicht möglich ist. Es erscheint wahrscheinlicher, dass zukünftig um mit Wasserstoff angereichertes Synthesegas im bestehenden Gasnetz transportiert wird.

Aufgrund des dreifachen Durchsatzes von Wasserstoff sowie der höheren Diffusität werden die Leitungs- und Verteilverluste für Wasserstoff mit **10 %** angenommen.

10 SZENARIO 2050: ENERGIEBEDARF UND ENERGIEBEDARFSDECKUNG

10.1 Sektor Mobilität



10.1.1 Grundlegende Annahmen

- Der Energiebedarf des Mobilitätssektors wurde auf Basis der von der STATISTIK AUSTRIA (2017) erstellten Nutzenergieanalyse 2016 für Tirol ermittelt. Als Grundprämisse wurde die spezifische Energiedienstleistung für die Jahre 2040 und 2050 nicht eingeschränkt. Dementsprechend wurde die Nutzenergie nicht reduziert, sondern analog zum prognostizierten Bevölkerungswachstum erhöht. Damit sind im Szenario **keine Verhaltensänderungen in der Personenmobilität** und **keine Reduzierung des Gesamtgüterverkehrsaufkommens** hinterlegt².
- Eine grobe Abschätzung der Energieeinsparungspotenziale durch eine deutliche Änderung der Verkehrsmittelwahl wurde in der Studie „Ressourcen und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (Ebenbichler et al. 2018) erstellt – s.a. Kap. 18.4.2. Es wurden Einsparungen von rund 1.100 TJ Endenergie im Jahr 2050 abgeschätzt, für die entsprechende, massive Verbesserungen im Verkehrsangebot für Fußgänger, Radfahrer und im Öffentlichen Verkehr notwendig wären.
- Die **Bevölkerungsentwicklung** wurde aus dem Statistischen Jahrbuch 2017 (STATISTIK AUSTRIA 2016) entnommen. 2016 betrug die Tiroler Bevölkerung 742.793 Personen. Für 2050 prognostiziert die Statistik Austria einen Wert von 837.217 Einwohnern. Dies entspricht einer Zunahme von rund 13 %.
- Die **Umstellung der Energieträger** in den Jahren 2050 und 2040 entspricht dem im Projekt „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018) ausgearbeiteten Energiemix-Szenario. Das bedeutet eine weitgehende Elektrisierung im Kombination mit dem Einsatz von Wasserstoff:
 - der Bahnverkehr wird mit direkter Stromnutzung (Batterie bzw. Oberleitung) angenommen. Ausgenommen ist nur die Zillertalbahn, bei der Wasserstoff als Endenergieträger festgelegt ist.
 - Im Straßenverkehr wird bei Pkw und Lieferwagen von direkter Stromnutzung ausgegangen, ebenso bei 30 % der Fahrleistung mit schweren Nutzfahrzeugen. Für 70 % Fahrleistung der schweren Nutzfahrzeuge wird Wasserstoff angenommen.
 - Für die Binnenschifffahrt wird von Strom als Endenergieträger ausgegangen.
 - Im Flugverkehr und auch für Oldtimer wird 2050 synthetischer flüssiger Treibstoff angesetzt.
- **Entwicklung des Pkw-Bestands bzw. der Fahrleistung in Bezug zur Antriebstechnologie:** Hinsichtlich des Straßenverkehrs wird zwischen Leicht- und Schwerverkehr unterschieden. Um die Flottenentwicklung der Pkw bis zum Jahr 2050 plausibel zu quantifizieren, wird der Trend des Pkw-Bestandes für Tirol zwischen den Jahren 2014 und 2019 (STATISTIK AUSTRIA 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020) fortgeführt. Dem-

² Eine grobe Abschätzung der Energieeinsparungspotenziale durch eine deutliche Änderung der Verkehrsmittelwahl wurde in der Studie „Ressourcen und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER ET AL. 2018) erstellt – s.a. Kap. 18.4.2.

entsprechend wird angenommen, dass die Anteile der Kraftfahrzeuge mit Elektroantrieb (batterieelektrische Fahrzeuge BEV und Hybridfahrzeuge) in näherer Zukunft schwach exponentiell steigen und der Anteil der Fahrzeuge, die fossile Treibstoffe nutzen, entsprechend abnehmen wird. Ab dem Jahr 2026 wird zudem ein stärkerer Rückgang der Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotoren der Berechnung hinterlegt, da davon ausgegangen wird, dass sich die Technik der Elektrofahrzeuge auf dem Markt etabliert und Fördermaßnahmen bzw. regulative Maßnahmen sowie das gestärkte Vertrauen der Fahrzeugnutzenden zu häufigeren Käufen von Elektrofahrzeugen führt. Zudem wird für diesen Zeitraum die Preisparität zwischen batterieelektrischen und konventionell betriebenen Fahrzeugen hinsichtlich des Anschaffungspreises erwartet (FÜRST et al. 2019).

Für die Folgejahre wird außerdem angenommen, dass der Trend der Hybridfahrzeuge ab dem Jahr 2030 abnimmt und vermehrt rein-elektrisch betriebene Pkw in den Flottenbestand aufgenommen werden. Auch die österreichische Klima- und Energiestrategie #mission 2030 (BMNT et al. 2018) fordert Rahmenbedingungen, „die bis 2030 eine Schwerpunktverlagerung hin zu Neuzulassungen von emissionsfreien Fahrzeugen ermöglichen“. Dementsprechend werden auch Fahrzeuge, die mit fossilem Gas betrieben werden, nicht mehr vorgesehen. Auf Grund der deutlich geringeren Wirkungsgrade werden im Energiemix-Szenario auch keine Pkw mit synthetisch produzierten Gasen als Energieträger vorgesehen, das heißt auch keine wasserstoffbetriebenen Pkw. Die bestehende Oldtimer-Flotte, die auf flüssige Kraftstoffe angewiesen ist, wird auf synthetische Kraftstoffe aus erneuerbarer Energie (Power to Liquid) umgestellt.

- Es ist davon auszugehen, dass das angenommene **Bevölkerungswachstum** von 13 % zwischen 2016 und 2050 zu einer weiteren deutlichen **Zunahme der Anzahl der Fahrzeuge** führt, da auch aktuell der Motorisierungsgrad (Kfz/Einwohner) in Tirol immer noch steigt. Selbst in Innsbruck, wo der Motorisierungsgrad in den letzten Jahren gesunken ist, steigt die Fahrzeuganzahl auf Grund des Bevölkerungswachstums.
- **Austauschrate bzw. Auslaufphase.** Die durchschnittliche Nutzungsdauer der Pkw wird mit zehn Jahren angenommen. Zwar werden in der Studie „Ökobilanz alternativer Antriebe“ (FRITZ et al. 2016) 15 Jahre als durchschnittliche Pkw-Lebensdauer angegeben, im Rahmen der gegenständlichen Studie wird jedoch davon ausgegangen, dass die meisten Pkw vor Ende ihres Lebenszyklus ins Ausland verkauft werden. Damit beim Szenario 2050 im Zieljahr 2050 gemäß dem Energiemix-Szenario eine rein elektrisch betriebene Pkw-Flotte existiert, müsste der Bestand an Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren folglich ab dem Jahr 2041 linear auslaufen. Zur Plausibilisierung der Austauschrate wird die Entwicklung der Anzahl bzw. Anteile von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) in Tirol betrachtet. Nähert man die Entwicklung zwischen 2014 und 2019 durch eine Exponentialfunktion an, ergibt sich eine Wachstumsrate von 175 %. Dieser Wert ist angesichts des kurzen Beobachtungszeitraums mit Vorsicht zu betrachten. Würde diese Rate fortgeführt, gäbe es bis 2030 eine fossilfrei Flotte. Es zeigt sich allerdings, dass in den Jahren 2017 bis 2019 die jährliche Anstiegsrate deutlich abgenommen hat. Auf ganz Österreich bezogen beträgt die vergleichbare Wachstumsrate von BEV zwischen 2014 und 2019 etwa 156 %. Auch hier ist in den letzten drei Jahren eine Abnahme der jährlichen Wachstumsraten zu beobachten. Um die Flottenzusammensetzung plausibel in die Zukunft fortzuführen, wird die Wachstumsrate in der Szenarienbetrachtung in den ersten Jahren kleiner als der Durchschnittswert von 175 % gewählt. Der Berechnung ist somit in den ersten Jahren ein konservativer Ansatz hinterlegt. Eine durchschnittliche Wachstumsrate von 120 % führt unter

einer angenommenen Zunahme des Motorisierungsgrades in Tirol zu einer vollkommen elektrisch betriebenen Leichtfahrzeug-Flotte um den Zeitraum 2050.

Die Aufteilung der Nutzenergie auf die einzelnen Antriebsarten bzw. Energieträger erfolgt letztlich anhand der Anteile an der Fahrleistung. Daher wird der **Energiebedarf des Leichtverkehrs** über die Entwicklung des Pkw-Bestandes mit der betreffenden **Kilometerleistung in Bezug zum jeweiligen Energieträger** aus dem Energieeinsatz der Haushalte 2017/2018 für Tirol (STATISTIK AUSTRIA 2019) verknüpft. Eine Aufteilung der Fahrleistung ist in Abb. 6 ersichtlich. Hierbei werden Hybrid-Fahrzeuge als „Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren mit niedrigem Treibstoffverbrauch“ gewertet und farblich den fossilen Antrieben zugeordnet. Diesen Anteilen entsprechend wird in den Szenarien die Nutzenergie, die dem Bevölkerungswachstum entsprechend über die Jahre steigt, auf die Antriebsarten bzw. die damit verbundenen Energieträger aufgeteilt.

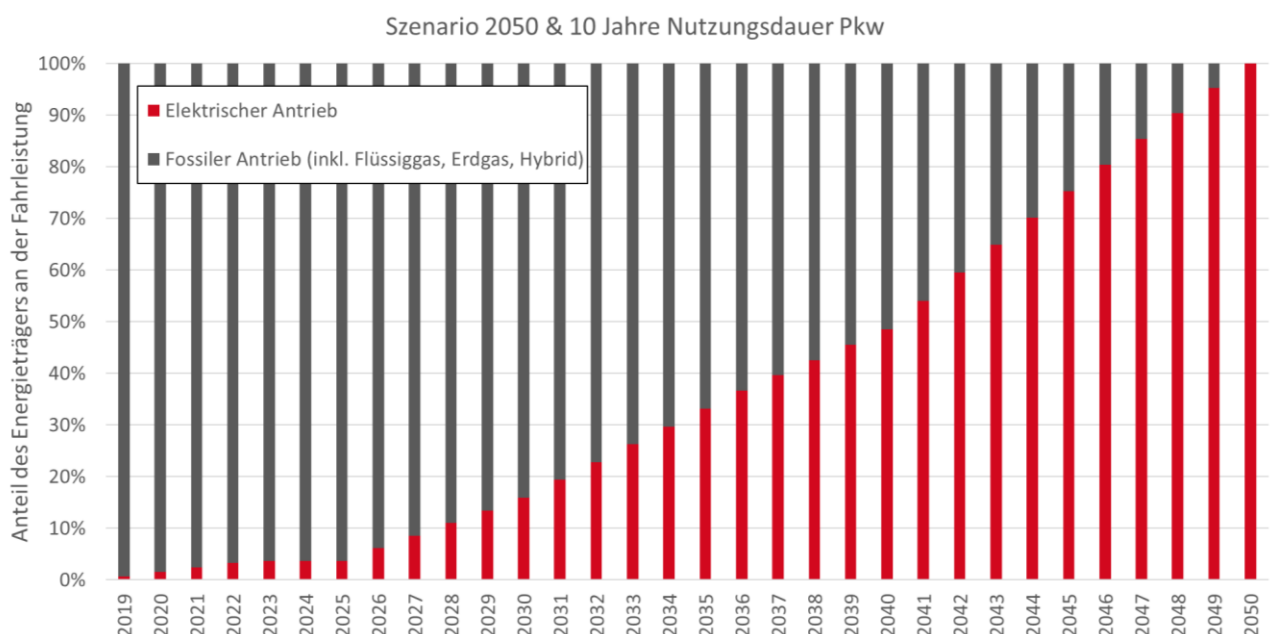


Abb. 6: Anteil der Fahrleistungen im Leichtverkehr, Szenario 2050.

- Für den **Schwerverkehr** wurde angenommen, dass die Antriebstechnologien Brennstoffzelle und Batterie erst ab dem Jahr 2025 beginnen, über Pilotprojekte hinausgehende Verbreitung zu finden. Ähnliche Annahmen finden sich im Synthesebericht des Umweltbundesamtes (UMWELTBUNDESAMT 2017). Auch die österreichische Klima- und Energiestrategie #mission 2030 (BMNT et al. 2018) fordert bis zum Jahr 2030 eine Erweiterung der technologischen Optionen im Schwerverkehr. Dementsprechend wird die gesamte Fahrleistung des Schwerverkehrs bis zum Jahr 2025 noch Dieselnutzfahrzeugen zugeordnet. Da erste Firmen bereits verkünden, ihren Fuhrpark um den Zeitraum 2026 auf Wasserstoff umstellen zu wollen (VCÖ 2020), wird ab diesem Jahr angenommen, dass der Anteil der alternativen Antriebe beginnt, leicht exponentiell zu steigen. Die zunächst nur leichte Abnahme der Dieselnutzfahrzeuge und ihrer Fahrleistung wird

insbesondere den hohen Investitionskosten für die betroffenen Firmen geschuldet sein.

Die Energieträger Strom und Wasserstoff teilen sich die vom Diesel freiwerdende Fahrleistung in Anlehnung an das Energiemix-Szenario, welches in „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018) ausgearbeitet wurde, im Verhältnis 30% und 70% auf (Abb. 7).

Nach Rücksprache mit der Wirtschaftskammer Tirol und gemäß WIETSCHER et al. (2017) wurde eine durchschnittliche Nutzungsdauer von sechs Jahren für die schweren Nutzfahrzeuge gewählt. Dieser vergleichsweise geringe Wert berücksichtigt, dass gerade Fahrzeuge mit hoher Fahrleistung bereits nach kurzer Zeit ausgetauscht werden und damit teilweise sehr lange Nutzungsdauern von Fahrzeugen mit geringer Fahrleistung kompensieren. Somit müsste das letzte Dieselnutzfahrzeug für das Szenario 2050 im Jahr 2044 verkauft werden, damit ab dem Jahr 2050 keine dieselbetriebenen Nutzkraftfahrzeuge mehr Teil der Flotte sind. Fahrzeuge, die mit längeren Nutzungsdauern eingesetzt werden, müssten bereits entsprechend früher auf fossilfreie Antriebe umgestellt werden. In den Jahren 2045 bis 2050 nimmt der Anteil der mit Diesel zurückgelegten Fahrleistung linear auf 0% ab.

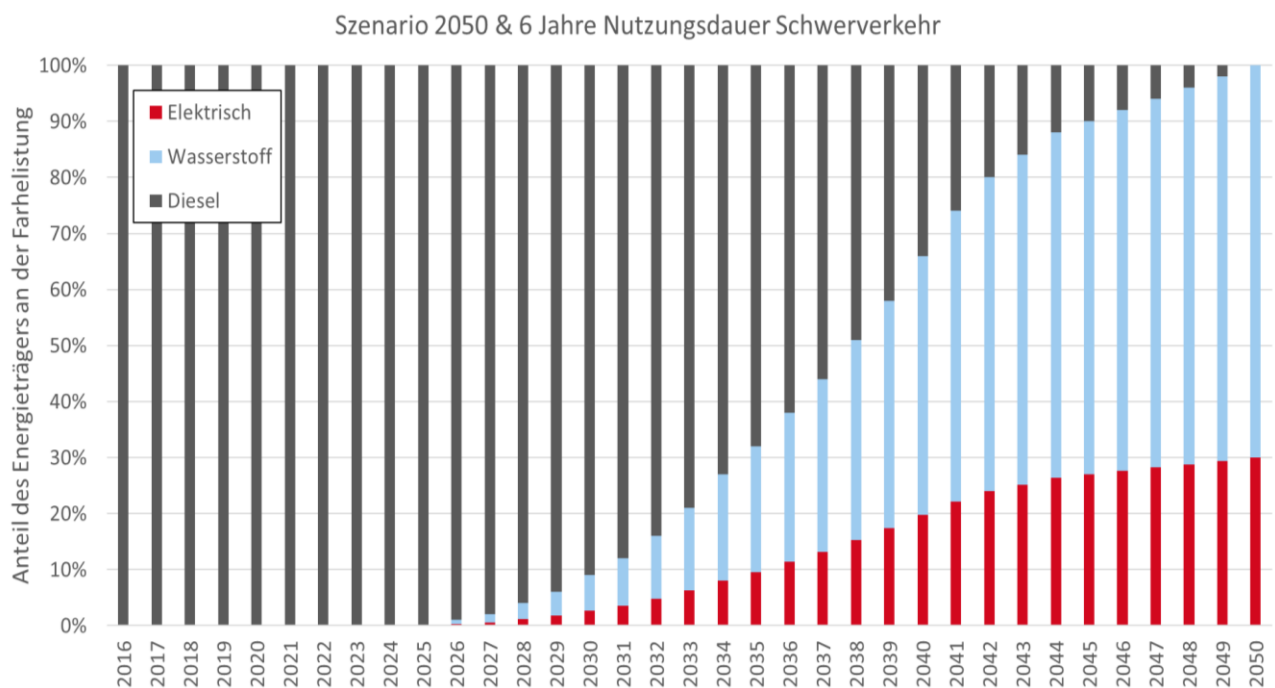


Abb. 7: Anteil der Fahrleistungen im Schwerverkehr, Szenario 2050.

- Für den Sektor **Flugverkehr** wird abweichend von der Nutzwertanalyse der Statistik Austria die Nutzenergie auf Grundlage der Betriebsdaten des Flughafens Innsbruck für 2016 ermittelt. Zwar ist von einer moderaten Zunahme der Flugbewegungen auszugehen, jedoch wird vereinfachend angenommen, dass durch effizientere Antriebstechnologien die Nutzenergie von 2016 bis 2050 konstant 140 TJ beträgt. Es wird zudem davon ausgegangen, dass der Umstieg von fossilen Treibstoffen auf synthetische Kraftstoffe basierend auf erneuerbarer Energie (Power to Liquid) erst sprunghaft im Jahr 2050 erfolgt, da deren Verwendung wohl deutlich teurer sein wird.
- Die **Binnenschifffahrt** orientiert sich an der Entwicklung im Bereich der Nutzfahrzeugmotoren und wird

demnach – sobald wirtschaftliche Alternativen bestehen – schrittweise mit der Erneuerung der betroffenen Schiffsmotoren von fossilen Treibstoffen auf alternative Antriebe beginnen. In den Szenarien wird daher davon ausgegangen, dass im Zeitraum 2028 bis 2036 schrittweise auf batterieelektrische Antriebe, das heißt auf den Energieträger Strom umgestellt wird. Auch in der Binnenschifffahrt wird die Nutzenergie im gesamten Untersuchungszeitraum als konstant angenommen.

- Für den Transport in **Rohrleitungen** (Transalpine Ölleitung) wird aufgrund des reduzierten Erdölbedarfs auf lange Sicht von einem geringeren Nutzenergiebedarf in der Zukunft ausgegangen. Zwar wird angenommen, dass die erforderliche Nutzenergie von 2016 bis 2023 noch linear um 33 % steigt und anschließend bis 2030 konstant bleibt, aber in der Folge gleichmäßig bis zum Jahr 2050 auf die Hälfte der Nutzenergie von 2016 abnimmt. Dies berücksichtigt, dass sich die Nachfrage nach Erdöl in der Zukunft durch Umstieg der Kraftfahrzeuge auf Strom und Wasserstoff verringern wird, Erdöl jedoch weiterhin durch die Rohrleitung für die Nutzung in der petrochemischen Industrie transportiert wird.
- Die **Eisenbahn** in Tirol ist bereits zu 100% elektrifiziert – mit Ausnahme der Zillertalbahn. Auf die Entwicklung des Eisenbahnverkehrs wirken sich die Inbetriebnahme des zurzeit im Bau befindenden Brenner-Basistunnels voraussichtlich im Jahr 2029 und die Umstellung der **Zillertalbahn auf Wasserstoff** voraussichtlich ab dem Jahr 2024 aus. Durch die **zusätzliche Kapazität des Brenner-Basistunnels** ist die **Erhöhung des Schienen-Güterverkehrs** und damit des Nutzenergiebedarfs des Eisenbahnsektors möglich. Gleichzeitig soll sich der **Lkw-Transit-Verkehr verringern** – den aktuellen politischen Zielsetzungen entsprechend auf eine Million Lkw, die jährlich den Brenner queren.
- **Systemgrenze und Tanktourismus.** Wie bereits in Kap. 6.1 kurz beschrieben, stellt der Mobilitätsbereich durch die möglichen Unterschiede im Energiebezugsort und -verbrauchsart vor allem im Quell- und Zielverkehr von bzw. nach Tirol und den Tanktourismus (vor allem im Transitverkehr) eine wesentliche Unschärfe dar. Dies ist im Anhang (Kap. 18.4.1) näher erklärt.

10.1.2 Nutzenergiebedarf 2016 und Nutzenergiebedarf 2050.

Für die Mobilität im Jahr 2016 wurde die Gesamt-Nutzenergie mit 7.187 TJ der Studie „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018) entnommen (Tab. 5). Entsprechend der Bevölkerungsentwicklung (STATISTIK AUSTRIA 2017) wird jene bis zum Jahr 2050 um knapp 13% auf **8.101 TJ** gesteigert (Tab. 6).

Tab. 5: Nutzenergie Mobilität 2016.

2016 [TJ]	Mobilität Gesamt	Eisenbahn	Flugverkehr	Binnenschiff	Rohrleitung	Sonstiger Landverkehr
Kohle	1	1				
Erdöl	5.482	65	591*	18		4.809
Gas	29					29
Elektrische Energie	1.298	670			295	333
Biogene Treibstoffe	377	4				373
Summe	7.187	739	591	18	295	5.544

* laut Statistik Austria. Aus den Betriebsdaten des Flughafens Innsbruck ergibt sich ein Wert von 140 TJ. Dieser Wert wird in den Szenarien hinterlegt.

Tab. 6: Nutzenergie Mobilität 2050.

2050 [TJ]	Mobilität Gesamt	Eisenbahn	Flugverkehr	Binnenschiff	Rohrleitung	Sonstiger Landverkehr
Kohle						
Erdöl						
Gas						
Elektrische Energie	6.426	1.320	0	18	148	4.940
Wasserstoff	1.526	22	0	0	0	1.504
Synth. Treibstoffe / Power2Liquid	148	0	140	0	0	0
Biokohle	1	1				
Summe	8.101	1.343	140	18	148	6.452

10.1.3 Eingesetzte Technologien 2050 und deren Wirkungsgrade

- Entsprechend dem Energiemix-Szenario wird der gesamte **Leichtverkehr** auf den Straßen mittels batteriebetriebenen Elektromotoren angetrieben. Ein geringer Anteil historischer Fahrzeuge wird im Zieljahr 2050 über synthetische Kraftstoffe aus erneuerbarer Energie (Power to Liquid) versorgt.
- Die Fahrleistung des **Schwerverkehrs** teilt sich zu 30% auf Strom und 70% Wasserstoffbrennzelle auf.
- 2050 werden **Flugzeuge** mit synthetischen Kraftstoffen (Power to Liquid) und **Binnenschiffe** mit Strom betrieben. Bei den **Rohrleitungen** kommt weiterhin Strom als Antriebstechnologie zum Einsatz.
- Die **Eisenbahn** in Tirol ist elektrifiziert. Die Zillertalbahn, die zurzeit mit Diesel betrieben wird, soll ab dem Jahr 2024 Wasserstoff (Brennstoffzellentechnologie) nutzen.
- Die **Wirkungsgrade** wurden aus der Literatur (z.B. WESSELAK et al. 2017) bzw. mittels Internetrecherche ermittelt. Angesetzt wurden demnach bei der Eisenbahn für elektrischen Antrieb 85 % und für fossilen Antrieb (Diesel, Kohle) 30 %. Beim Straßenverkehr wurden – wie bei der Binnenschifffahrt – für Verbrennungsmotoren 20 % (Diesel inkl. Biofuel als Beimischung und Gas) bzw. 15 % (Benzin) und 80 % bei Elektromotoren verwendet. Beim Flugverkehr wurden abweichend zur Studie „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018) 40 % und bei Rohrleitungen 90 % zugrunde gelegt. Für Wasserstoff (Brennstoffzellentechnologie) wird ein Wirkungsgrad im Fahrzeug von 60 % angesetzt.

10.1.4 Endenergiebedarf 2050, eingesetzte Energieträger und zeitlicher Verlauf

Abb. 8 zeigt, wie die Nutzenergie in Zusammenhang mit dem Bevölkerungswachstum zunimmt und sich der Änderung der Antriebstechnologien entsprechend die Aufteilung auf die Energieträger ändert, bis 2050 die fossilen Energieträger vollständig durch erneuerbare Energieträger substituiert sind. Der größte Anteil wird direkt durch Strom gedeckt. Hier sind die größten Mengen im Landverkehr, wo der gesamte Leichtverkehr und 30 % der Fahrleistung des Schwerverkehrs sukzessive auf direkte Nutzung elektrischer Energie umgestellt werden, und bei der Eisenbahn verortet, die mit Ausnahme der Zillertalbahn heute schon elektrisch betrieben wird. Die Zunahme des Wasserstoffs resultiert aus der sukzessiven Umstellung von 70 % der Fahrleistung des Schwerverkehrs beginnend ab 2026 und der Umstellung der Zillertalbahn, die ab 2024 geplant ist. Gemeinsam mit dem Diesel reduzieren sich auch die beigemischten Biofuels bis 2050 auf Null. Im Jahr 2050 werden Flugverkehr und Oldtimer auf synthetische Kraftstoffe (Power2Liquid) umgestellt.

Entwicklung der Energieträger - Nutzenergie Mobilität gesamt 2050

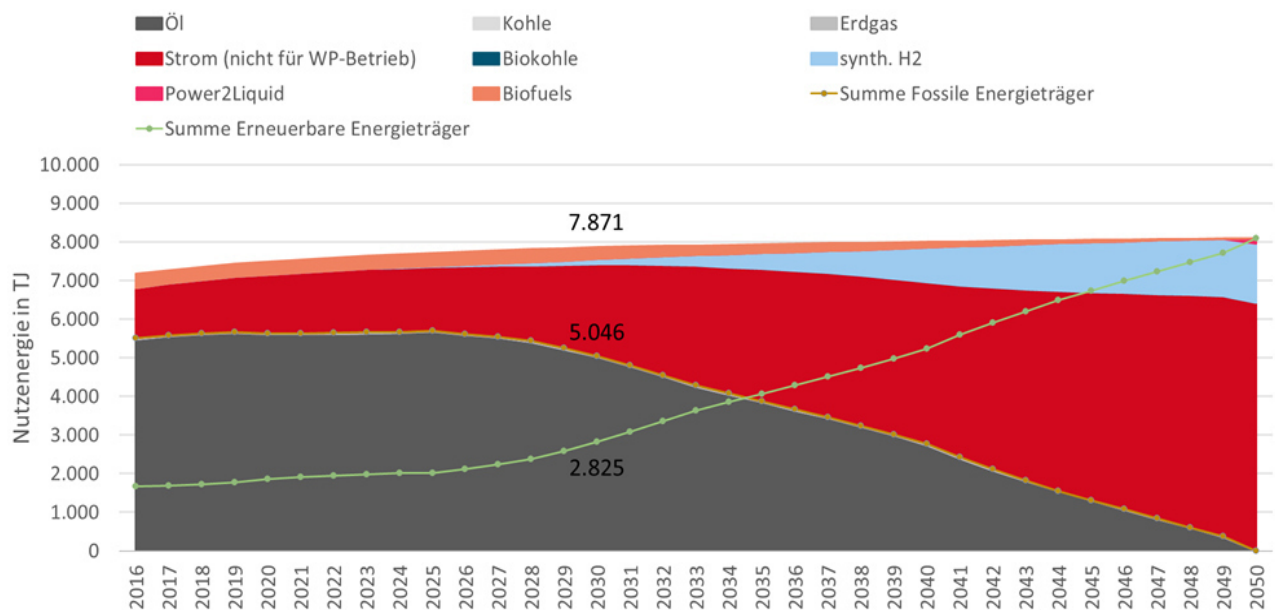


Abb. 8: Zeitlicher Verlauf der Nutzenergie Mobilität, Szenario 2050.

Entwicklung der Energieträger - Endenergie Mobilität gesamt 2050

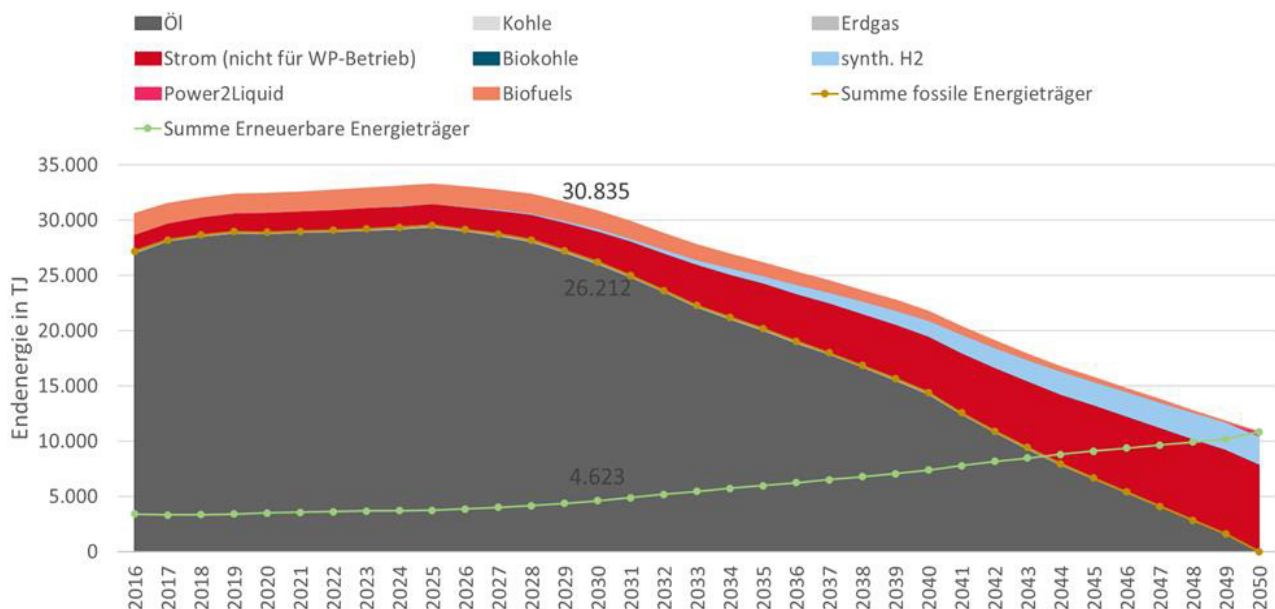


Abb. 9: Zeitlicher Verlauf der Endenergie Mobilität, Szenario 2050.

Abb. 9 zeigt die deutliche Abnahme der erforderlichen Endenergie trotz steigender Nutzenergie. Begründen lässt sich dies durch die höheren Wirkungsgrade insbesondere durch den Ersatz von Verbrennungsmotoren durch elektrische Antriebe im Landverkehr.

10.1.5 Zwischenziel 2030

Im Jahr 2030 werden fossile Treibstoffe noch eine wesentliche Rolle in der Mobilität spielen. Der Endenergiebedarf von 30.835 TJ für die Mobilität teilt sich dem Szenario zufolge in diesem Jahr folgendermaßen auf:

- **Fossil 85 %** bzw. 26.212 TJ
(26.098 TJ Öl, 2 TJ Kohle, 112 TJ Erdgas),
- **(potenziell) Erneuerbare 15 %** bzw. 4.623 TJ
(2.842 TJ Strom, 234 TJ synth. Wasserstoff, 1.547 TJ Biofuels).

Die immer noch dominante Rolle der erdölbasierten Treibstoffe ist auf die „Trägheit“ der Technologieveränderung in den Antriebstechnologien zurückzuführen. So wird auch bei steigenden Anteilen von elektrischen Antrieben in den Pkw-Zulassungen auf Grund der Nutzungsdauer 2030 ein **Großteil der bestehenden Pkw-Flotte** und Pkw-Fahrleistung (über 80 %, vgl. Abb. 6) noch **mit Verbrennungsmotoren** ausgestattet sein bzw. erbracht werden. Im **Schwerverkehr** ist zu diesem Zeitpunkt noch **kaum mit fossilfreien Antrieben zu rechnen**. Die Fahrleistung von Nutzfahrzeugen mit elektrischen Antrieben (Batterie oder Wasserstoff) ist demnach mit unter 10 % angesetzt (Abb. 7).

Gerade wegen dieser „Trägheit“ des Technologiewechsels ist es essentiell, diesen forciert voranzutreiben. Die **Anteile der Fahrzeuge mit fossilfreien Antrieben bei den Pkw-Neuzulassungen** sollten bis **2030 auf über 70 %** erhöht werden³. Neben Anreizen zur Förderung dieser Entwicklung im privaten Bereich ist es wesentlich, in den Fahrzeugflotten der öffentlichen Hand und im Bereich des Carsharings den Technologiewechsel voranzutreiben. Ein weiterer wesentlicher Faktor ist der gezielte **Ausbau der Ladeinfrastruktur** sowohl im öffentlichen Raum als auch an Abstellplätzen im privaten Bereich (Wohn- und Firmengebäude).

Weitere Maßnahmen, die dem Szenario 2030 als Zwischenziel zugrunde liegen, sind die **Verlagerung des Güterverkehrs auf die Bahn**, die im Szenario mit der Verkehrswirksamkeit des Brennerbasistunnels in den Jahren zwischen 2029 und 2033 angesetzt wurde, und die **Elektrifizierung der Zillertalbahn** durch „Wasserstoffzüge“.

In diesem Zusammenhang sei auch noch auf die in den Szenarien nicht berücksichtigten Potenziale einer Verhaltensänderung verwiesen, die gerade vor der Erhöhung der Effizienz durch neue Technologien noch höhere Einsparungspotenziale aufweisen (vgl. Kap. 18.4.2).

³ So hat beispielsweise die AUSTRIATECH (2019) für die Erreichung eines „CO₂-freien Verkehrssektors“ in Österreich im Jahr 2050 ein sogenanntes „HochlaufszENARIO der E-Mobilität“ ermittelt, gemäß dessen der Anteil an Neuzulassungen von Elektro-Pkw in Österreich von 4,4 % im Jahr 2020 auf 76 % im Jahr 2030 erhöht werden müsste. Das Szenario korrespondiert dabei mit einem Prognosewert für 2025 von ca. 28 % mit Zielwerten verschiedener Automobilhersteller, die für 2025 Anteile von 25 % bis 40 % an den Neuwagen anpeilen. Damit verbunden wären Anteile der Elektro-Fahrzeuge (noch inklusive Plug-In-Hybriden) an der Pkw-Flotte von 7 % im Jahr 2025 bzw. ca. 27 % im Jahr 2030 (AUSTRIATECH 2019).

AUSTRIATECH (2019) kommt dabei zum Schluss, dass für die Erreichung eines CO₂-neutralen Verkehrssektors 2050 die europäische Zielsetzung für das Jahr 2030 nicht ausreicht, die CO₂-Emissionen von neuen Pkw bis 2025 um 15 % und bis 2030 um 37,5 % zu senken, was umgerechnet einen benötigten Anteil von emissionsfreien Pkw im Jahr 2030 von bis zu 40 % bei den Neuzulassungen bedeuten würde (abhängig von den durchschnittlichen Emissionen einer Flotte bis 2030 sowie vom durchschnittlichen CO₂-Ausstoß von reinen Verbrennern). Um diesen Wert im europäischen Durchschnitt erreichen zu können, müsste Länder wie Österreich das Ziel tendenziell deutlich übererfüllen. Wenn die Klimaneutralität schon 2040 erreicht werden soll, bedeutet dies noch einen deutlich drastischeren Handlungsbedarf.

10.2 Sektor Produktion



10.2.1 Grundlegende Annahmen

- Als **wirtschaftliche Entwicklungsprognose** wird eine nominale Steigerung von 1,5% pro Jahr angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass sich bis zum Jahr 2050 keine wesentlichen Änderungen in der **Industriestruktur** ergeben werden und sich auch keine bedeutende Anzahl weiterer energieintensiver Betriebe in Tirol ansiedeln werden. Die daraus resultierende Nutzenergie wird nicht gleichermaßen mit der wirtschaftlichen Entwicklungsprognose steigen. Die Prognose der **Nutzenergieentwicklung** wird somit mit 0,8% pro Jahr angenommen.
- Die Projektstudie fokussiert sich auf ein einziges Szenario, welches weitgehend mit dem Szenario „Energimix“ der Studie „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018) einhergeht. Es wird eine Effizienzsteigerung in den Prozessanwendungen angenommen, der Mehrbedarf durch die Steigerung der Produktionsleistung überkompensieren muss. Es soll somit die Energieproduktivität gesteigert werden, welche die wirtschaftliche Leistung pro verbrauchter Energieeinheit (End- oder Primärenergie) beschreibt (SAUER et al. 2016). Prozesse, bei denen eine Umstellung auf Strom nicht möglich ist, da eine Flamme benötigt wird (z.B. im Drehrohrofen bei der Zementerzeugung), werden mit Wasserstoff betrieben. Dies ist energetisch sinnvoller als nach hochenergetischer Elektrolyse den gewonnenen Wasserstoff in einem weiteren energieintensiven Prozess zu Methan zu verarbeiten. Prozesse, die Kohle sowohl stofflich als auch energetisch benötigen (wie z.B. bei der Verhüttung von Stahl oder Nichteisenmetallen), werden mit Biokohle betrieben. Prozesse, die derzeit mit biogenen Energieträgern bzw. brennbaren Abfällen betrieben werden, werden nicht umgestellt. Die speziellen Annahmen bzw. Rahmenbedingungen sind Kap. 10.2.3 zu entnehmen.
- Bei der Hochrechnung für 2050 wurden **Effizienzsteigerungen** sowie **Technologieänderungen** auf Basis des aktuellen Stands des Wissens berücksichtigt bzw. hochgerechnet, wobei in den Prognosen **moderat-ambitioniert** vorgegangen wurde. Moderat bedeutet, dass die angesetzten Maßnahmen technisch auch heute schon umsetzbar wären (z.B. Gebäudestandards, Elektromobilität, hocheffiziente Prozesse in der Produktion) und die maximalen jährlichen Effizienzsteigerungen berücksichtigt werden. Ambitioniert sind die Maßnahmen deshalb, weil für die notwendige flächendeckende Umsetzung der Maßnahmen derzeit die sozioökonomischen Rahmenbedingungen noch nicht geschaffen sind und Technologiesprünge erwartet werden, welche teilweise Effizienzsteigerungen über dem jährlichen Maximum ermöglichen.
- Für die maximale Effizienzsteigerung wurde für jede Kategorie eine Systemgrenze festgelegt, welche den maximal möglichen Wirkungsgrad des Prozesses im gesamten System beschreibt. Im Folgenden sind die möglichen maximalen Systemwirkungsgrade und die reale, maximale, jährliche Effizienzsteigerung je Nutzenergie-Kategorie aufgelistet.
 - **Dampferzeugung:** max. Effizienzsteigerung 1,5%/a bei max. Systemwirkungsgrad von 80%. Dies ist erreichbar, wenn die künftigen Dampfkessel beim Austausch (Lebensdauer: 15 bis 25 Jahre) von Öl- bzw. Gas- auf Strombetrieb umgestellt und veraltete, ineffiziente Dampfleitungen optimiert werden – vgl. Faktenblatt Dampfkessel (FFE 2014).

- **Industrieöfen:** max. Effizienzsteigerung 0,8%/a bei max. Systemwirkungsgrad von 85%.
Kann durch sukzessiven Austausch auf modernere, effektivere Systeme erreicht werden. Wo es technologisch möglich ist, ist eine Umstellung auf strombetriebene Systeme durchzuführen. Zusätzliche Maßnahmen im Betrieb wie Sanierung / Optimierung der wärmeführenden Systeme bzw. Wärmehückgewinnungs- und Dämmungsmaßnahmen sind ebenfalls erforderlich – vgl. dena-Ratgeber-Reihe „Energieeffiziente Technologien für Industrie und Gewerbe“ (DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH, 2018).
- **Standmotoren:** max. Effizienzsteigerung 2,0%/a bei max. Systemwirkungsgrad von 85%.
Ein hoher Anteil wird bereits elektrisch betrieben. Ein kontinuierlicher Austausch würde nicht ausreichen, um das Ziel von bis zu 2,0%/a zu erreichen. Die Optimierung der angeschlossenen Systeme wie zum Beispiel Druckluft, Pumpen- bzw. Ventilatorbetrieb kann einen wesentlichen Beitrag bringen – vgl. dena-Ratgeber-Reihe „Energieeffiziente Technologien für Industrie und Gewerbe“ (DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH 2018). Allein im Bereich der Druckluft werden durchschnittlich durch undichte Systeme bzw. unsachgemäße Handhabung mehr als 30% zusätzliche Energie benötigt.
- **Sonstige:** gemittelte max. Effizienzsteigerung 1,0%/a bei max. Systemwirkungsgrad von 85%.
Zu Sonstige zählen Trocknungs- oder elektrochemische Anlagen. Hier wird eine Annahme – anteilig zu Industrieöfen und Standmotoren – getroffen.
- **Industriegebäude** sind energetisch dem Sektor Industrie zugeordnet, wurden jedoch vom Projektteam „Sonstiges/Gebäude“ bearbeitet. Die Sanierung von Industriegebäuden, Raumheizung und Klimatisierung wird daher im Bereich Sonstiges/Gebäude (Kap. 10.3) behandelt – die Werte fließen jedoch in Abb. 11 mit ein.
- Auch die für Tirol sehr wichtige **Holzindustrie** wird einige Veränderungen erfahren. Die Hackgutnachfrage wird laut Vertretern der Tiroler Holzindustrie mittelfristig steigen, was einen Ausbau der Pellektierungen mit sich bringen wird sowie einen Rückgang der Sägespäne-Verfügbarkeit. Auch bei einem weiteren Ausbau werden auf Grund von Effizienzsteigerungen und optimierten Kaskadennutzung vermutlich nicht mehr Holzressourcen benötigt. Vertreter der Heizwerk- und Fernwärmebetreiber prognostizieren einen Anstieg der Endenergie und gehen davon aus, dass Heizwerke in Zukunft mehr denn weniger Energie bereitstellen müssen. Weiter sehen sie eine Zunahme an Biomasse / Nahwärmeanlagen bei gleichzeitigen Effizienzsteigerungen von bestehenden Biomasseheizwerken. Dies erfolgt z.B. durch neue Anschlüsse, welche den Nutzungsgrad erhöhen oder aus technologischer Sicht durch Wärmetauscher im Rauchgas. Ein bedeutendes Potenzial liegt ebenfalls in der Technologie der Holzvergasung, welche bis 2030 in Tirol 115 GWh/a produzieren soll. Die Einschätzungen stammen aus dem Workshop „Biomasse Holz“ vom 24.06.2020.

Tab. 7 zeigt die maximalen Systemwirkungsgrade und die realen, maximalen, jährlichen Effizienzsteigerungen der unterschiedlichen Nutzenergie-Kategorien.

Tab. 7: Systemwirkungsgrade und maximale Effizienzsteigerungen.

Nutzenergie-Kategorie	Maximaler Systemwirkungsgrad	Reale, maximale, jährliche Effizienzsteigerung
Dampferzeugung	80 %	1,5 %
Industrieöfen	85 %	0,8 %
Standmotoren	85 %	2,0 %
Sonstiges	85 %	(1,0 %)

Tab. 8 zeigt die Effizienzsteigerungs-Werte mit Erläuterung zu den jeweiligen Intervallen bis 2050. Zu Beginn wird die Effizienzsteigerung höher eingestuft, da große Potenziale in schnell umsetzbaren Effizienzmaßnahmen erwartet werden. Gegen Ende wird es zunehmend schwieriger, Prozesse in der Effizienz zu steigern. Es wird angenommen, dass die Effizienzsteigerung eher nachlässt. Allerdings wird zum Erreichen des Ziels zum Jahr 2050 weiters angenommen, dass sich die Bemühungen gegen Ende hin erhöhen, um die Effizienzziele zu erreichen.

Tab. 8: Moderat Ambitionierter Technologieumstieg.

Zeitraum	Werte absolut	Erläuterung / Annahme
2016-2020	0,6%	Steigerung nach aktuellem Effizienzgesetz.
2020-2025	mindestens 0,6%, sonst Hälfte der Maximalwerte	Effizienzgesetz wird weiterhin eingehalten, allerdings erste Steigerungen durch Marktanforderungen.
2025-2030	+1/3 von Maximalwert	„Einfache Maßnahmen“ werden schnell durchgeführt.
2030-2045	-1/3 von Maximalwert, mindestens aber 0,6%	Schnelle Maßnahmen sind alle durchgeführt; es besteht noch kein Zeitdruck.
2045-2050	+1/3 von Maximalwert	Zeitdruck, um Endziel zu erreichen

Hierbei wird (rückwirkend) für den Zeitraum 2016-2020 angenommen, dass die Effizienzsteigerung den Anforderungen des geltenden Energieeffizienzgesetzes entspricht (0,6% p.a.). Von 2020 bis 2025 werden weiterhin die 0,6% des Effizienzgesetzes als minimale Steigerungsrate angesetzt, einige Bereiche setzen aber schon stärkere Maßnahmen, da vor allem die Anforderungen des Marktes einen gewissen Druck ausüben (Nachhaltigkeitsstrategien der Konkurrenz, Kundenforderungen nach geringem CO₂-Fußabdruck, etc...). Diese Steigerungen werden ab 2025 erhöht, da auch ein zu erwartender politischer Druck die Unternehmen dazu veranlasst, einfach umzusetzende Maßnahmen umzusetzen. Somit wird in Summe etwa ein Drittel des maximal erreichbaren Effizienzgrades erreicht. Zwischen 2030 und 2045 flacht die Effizienzsteigerung wieder etwas ab, da die einfachen Maßnahmen bereits umgesetzt wurden, aber hinsichtlich des politischen Ziels „2050“ noch kein Zeitdruck besteht. Erst ab 2045 führt der Druck, das Ziel zu erreichen, dazu, dass nun auch schwieriger umzusetzende Effizienzmaßnahmen in Angriff genommen werden. In diesem Zeitraum ist die stärkste Steigerung zu verzeichnen.

10.2.2 Höhe Nutzenergiebedarf 2016 und Nutzenergiebedarf 2050

Der Endenergiebedarf für 2016 ist die Grundlage für die Berechnungen und liegt laut STATISTIK AUSTRIA (2017) für den gesamten Industriebereich (inklusive Industriegebäude) bei 20.840 TJ. Dieser Wert wird mit spezifischen Wirkungsgraden auf eine Nutzenergie von **12.745 TJ** berechnet. Der Nutzenergiebedarf wird linear mit einer jährlichen Steigerung von 0,8% fortgesetzt (s.a. Kap. 10.2.1). Da der Nutzenergiebedarf vom Endenergiebedarf über

energieträgerspezifische Wirkungsgrade zurückgerechnet wird, wird er zusätzlich durch die Substitution fossiler Energieträger beeinflusst. Da vor allem Strom gegenüber fossilen Energieträgern (wie zum Beispiel Kohle oder Erdgas) einen höheren Wirkungsgrad aufweist, wird der reale Nutzenergiebedarf verringert. Somit ergibt sich ein Wert von **14.487 TJ an Nutzenergiebedarf** für das Jahr 2050.

10.2.3 Eingesetzte Technologien 2050 und deren Wirkungsgrade

Ziel ist es, die Technologien so umzustellen, dass im Jahr 2050 ein rein regenerativer Energieeinsatz vorherrscht. Da die meisten benötigten Technologien schon sehr ausgereift sind, wird von einem **Beginn der Umstellung mit 2020** ausgegangen.

Die Austauschraten werden im vorliegenden Szenario stufenweise erhöht und alle fünf Jahre verdoppelt. Um bis 2050 annähernd 100% regenerativen Energieeinsatz zu erreichen, beginnt die „Soll“-Austauschrate von 2020-2025 mit 1,2% und endet 2045-2050 mit 38%. Bei der Kategorie **Standmotoren** wird hauptsächlich auf Strom umgestellt. Jene Standmotoren, welche Diesel als Energieträger verwenden, sollen auf „Syn-Fuels“ umgestellt werden, da sich Standmotoren oft an netzfernen Baustellen befinden und daher ein Elektromotor keine Alternative darstellt. Bei der **Dampferzeugung** werden fossile Energieträger ausschließlich auf Strom umgestellt, was als realistisch betrachtet wird, da Dampferzeuger mit über 400 kW Leistung technologisch schon jetzt möglich sind. Für viele **Industrieofenprozesse** wird auch in Zukunft Strom als Energielieferant nur bedingt möglich sein, deshalb werden Öl und Gas auf regenerative Gase wie Biogas, Wasserstoff und gegebenenfalls synthetisches Methan umgestellt. Synthetisches Methan wird dabei nachrangig eingesetzt, da die Herstellung sehr energieintensiv ist. Kohle, welche unter anderem als Reduktionsmittel verwendet wird, wird durch Bio-Kohle ersetzt.

Größter Hemmfaktor für die Umstellung ist derzeit der große Unterschied zwischen Strompreisen und den im Vergleich günstigen fossilen Brennstoffen. Diese Einschätzungen haben sich hauptsächlich aus persönlichen Gesprächen mit Tiroler Unternehmen ergeben.

10.2.4 Endenergiebedarf 2050, eingesetzte Energieträger und zeitlicher Verlauf

Der Endenergiebedarf für 2050 beläuft sich nach Austausch aller fossilen Energieträger und der moderat-ambitionierten Effizienzsteigerung auf **19.376 TJ**. Das Ziel einer Endenergiesenkung von „minus 10%“ (rund 15.300 TJ) zum Wert in 2016 kann selbst mit einem ambitionierten Szenario nicht erreicht werden. Hintergrund sind mitunter die Systemgrenzen, welche nur überschritten werden können, wenn es Technologiesprünge gibt. Abb. 10 zeigt die Entwicklung der Nutz- und Endenergie mit einem Austausch aller fossilen Energieträger bis 2050. Hier werden nur die Kategorien der Industrieprozesse aufgelistet (die Industriegebäude sind hier ausgeschlossen). Die gesamte Endenergie schwankt im zeitlichen Verlauf leicht. Der generelle Trend zeigt eine Verringerung der Endenergie zur Nutzenergie. Dies lässt auf eine höhere Energieproduktivität schließen.

Abb. 11 zeigt die Entwicklung der Energieträger. Hier wird der Anteil Industriegebäude aus dem Sektor Gebäude mit einberechnet. Die grüne Linie beschreibt die Summe der regenerativen, die braune die Summe der fossilen Energieträger. Zum Zwischenziel in 2030 wird Endenergie in Höhe von 19.559 TJ benötigt, wobei knapp zwei Drittel auf regenerative Energieträger entfallen. 2050 ist Strom der dominierende Energieträger – er deckt knapp die Hälfte des gesamten Endenergiebedarfs.

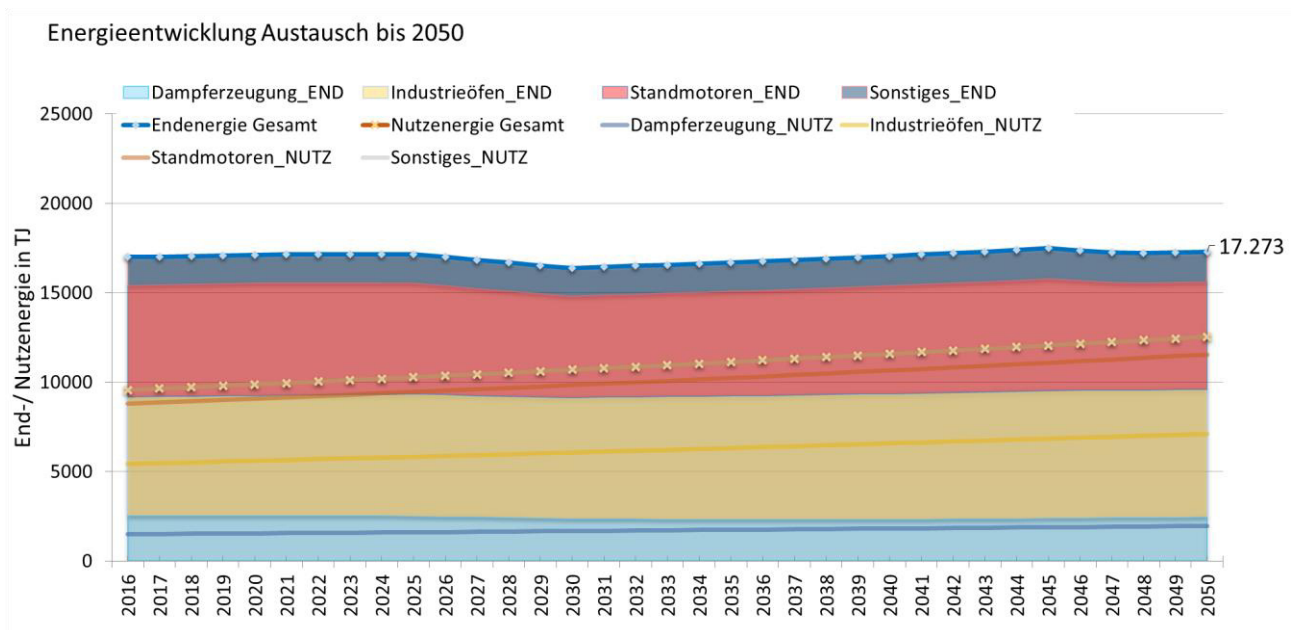


Abb. 10: Energieentwicklung der Industrieprozesse (ohne Industriegebäude) mit Austausch bis 2050.

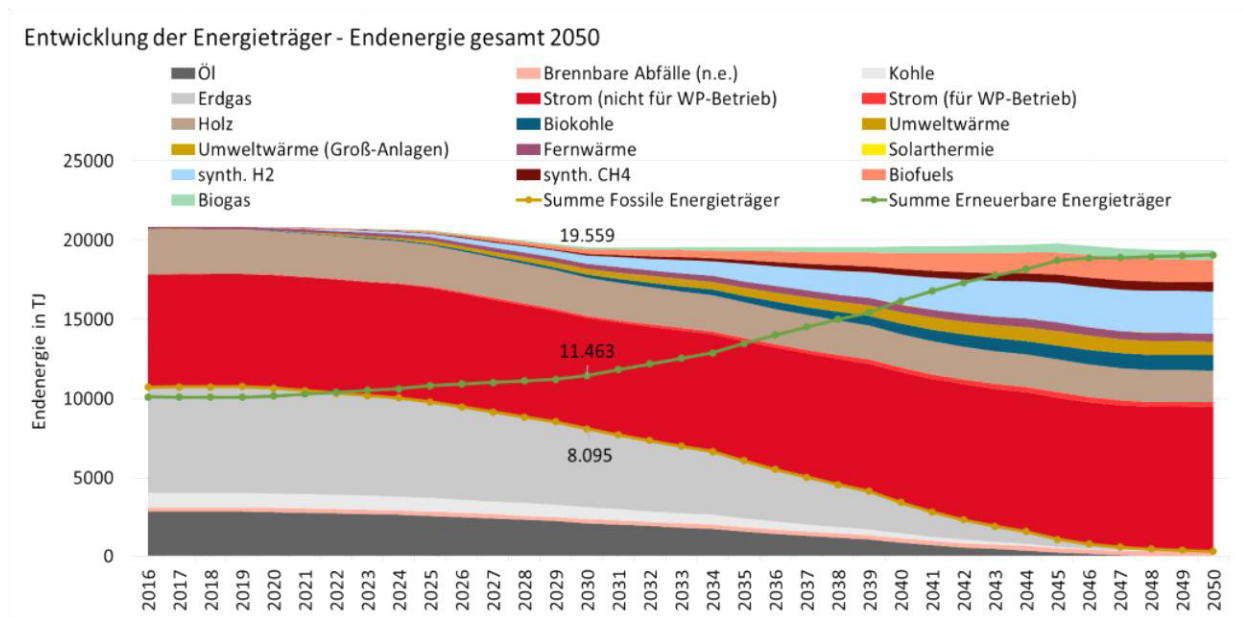


Abb. 11: Entwicklung der Energieträger von Industrieprozessen inkl. Industriegebäuden - Endenergie bis 2050.

10.2.5 Zwischenziel 2030

Grundsätzlich ergeben sich die Zwischenziele aus der Geschwindigkeit der Umsetzung. Diese ist nicht ausschließlich von den Unternehmen selbst abhängig, sondern auch wie und in welcher Form sich die übergeordnete Infrastruktur sowie – für Unternehmen besonders relevant – die Kostenstruktur für Energieträger entwickelt. Für die folgende Betrachtung wurde eine gestaffelte Umsetzungsstrategie gemäß Tab. 8 gewählt. Daraus ergeben sich im gewählten Szenario folgende Zwischenziele für 2030:

- Bei der **Dampferzeugung** gibt es keine technische Einschränkung, um fossile Energieträger wie Öl und Gas durch Erneuerbaren Strom zu ersetzen. Muss ein Kessel erneuert werden, so ist meist einzig der Preis des eingesetzten Energieträgers für die Art des Kessels entscheidend. Geht man davon aus, dass die Installation neuer fossil betriebener Dampfkessel nicht mehr genehmigt wird, kann eine lineare Austauschrate angenommen werden. Im Vergleich zu 2016, wo der Anteil an mit Strom betriebenen Dampfkesseln bei unter 5 % gelegen ist, haben diese im Jahr 2030 bereits einen Anteil von rund 20 %.
- Bei der Umstellung der Energieträger in **Industrieöfen** gibt es Bereiche (z.B. Metallverhüttung, chemische Industrie, Zementindustrie u.ä.), wo prozessbedingt zwingend stoffgebundene Energieträger zum Einsatz kommen müssen. Die Umstellung von fossiler Kohle auf Biokohle oder Erdgas auf Wasserstoff kann aber nur nach entsprechend langer Vorlaufzeit erfolgen, da die Substituenten teilweise gänzlich andere Abbrandeigenschaften aufweisen, an die der Prozess erst adaptiert werden muss. Gerechnet wird 2030 mit einer Substitution von etwa 20 % Biokohle des benötigten Kohleeinsatzes sowie 25 bis 30 % Erneuerbaren Gases (Wasserstoff, synthetisches Methan) anstelle von Erdgas und Heizöl.
- **Standmotoren** werden bereits jetzt zu einem sehr hohen Anteil (> 80%) mit Elektrizität betrieben. Der Rest wird nahezu ausschließlich mit Diesel betrieben. Dieser fossile Anteil kann ohne größere technische Schwierigkeiten durch Bio-Diesel ersetzt werden, hier stellt sich die Frage nach der Marktverfügbarkeit von biogenen Treibstoffen. Im gegenständlichen Szenario ist 2030 damit zu rechnen, dass knapp ein Viertel der dieselbetriebenen Standmotoren auf Biodiesel umgestellt sind.
- Der **sonstige Energiebedarf** der Industrie wird vor allem durch die Bereitstellung von Kälte, Heizwärme sowie mechanischer Energie bestimmt. Auch in diesen Bereichen hängt die Wahl des Energieträgers vornehmlich von den Preisen der Energieträger ab, also kann auch hier davon ausgegangen werden, dass bei entsprechenden Rahmenbedingungen bei einem notwendigen Tausch der Erzeugereinheiten auf biogene Energieträger bzw. Strom umgestellt wird. Somit ergeben sich für 2030 ebenfalls rund 20 bis 25 % Substitution der derzeit mit fossilen Energieträgern betriebenen Aggregate.

10.2.6 Ergebnisse aus Gesprächen mit Tiroler Leitbetrieben

Aus Interviews, einer Online-Umfrage sowie aus persönlichen Gesprächen sind zur Erreichung der Energieziele im Sektor Produktion aus Sicht der Unternehmer die Rahmenbedingungen u.a. folgendermaßen anzupassen:

- Werden **Investitionsförderungen bzw. Finanzierungsvorteile** für umwelt- und energierelevante Investitionen angeboten, so würde die Umstellung der Technologien zeitlich vorgezogen werden bzw. überhaupt erst finanziell ermöglicht werden.
- Seitens der Industrie wünscht man sich eine **Entbürokratisierung des Förderungsmanagements**. One-Stop-Shops bzw. mehr Transparenz würde die Inanspruchnahme von Förderungen und somit eine Technologieumstellung erleichtern.
- Ebenfalls wird eine **Vereinfachung von Genehmigungsprozessen** beim Bau oder bei Änderung von Betriebsanlagen gewünscht. Dies wird vor allem hinsichtlich dem Einsatz von innovativen Technologien notwendig, die noch nicht Stand der Technik sind. Hier wird auch eine erweiterte Expertise der Sachverständigen notwendig werden.
- Sollte für die Umstellung des Energieträgers ein **Ausbau von Leitungsnetzen** notwendig werden, so sollten die Projektierungen und Investitionen gemeinsam mit dem Netzbetreiber abgewickelt werden.
- Eine **Auskopplung von Abwärme** kann nicht vom Unternehmen allein getragen werden, da die Wärmelieferung nicht die Kernkompetenz des produzierenden Unternehmens sein soll. Hier erscheint es sinnvoll, dass Planung, Bau und Koordination von übergeordneten Infrastrukturunternehmen initiiert und umgesetzt werden.
- Beim **Ausbau von ÖPNV** sollten die Verkehrsflüsse von Unternehmen eingebunden werden. Vor allem in Unternehmen mit Schichtbetrieb ist es derzeit für die Mitarbeiter kaum möglich, öffentliche Verkehrsmittel für den Arbeitsweg zu nutzen.
- **Energieeffizienzmaßnahmen**, für die Förderungen eingeworben worden sind, können derzeit im Rahmen des **Energieeffizienzgesetzes** nicht mehr geltend gemacht werden. Dies führt dazu, dass manche Maßnahmen in Unternehmen erst gar nicht umgesetzt werden.
- Von den Unternehmen wird die Einführung einer **globalen CO₂-Steuer** gemäß dem tatsächlichen Ausstoß als sinnvoll betrachtet. Kommt es nur zu einer lokalen Besteuerung von fossilen Energieträgern, so führt dies zu einem Nachteil Tiroler Unternehmen im internationalen Wettbewerb.

10.3 Sektor Sonstige / Gebäude



10.3.1 Grundlegende Annahmen

Die Grundannahmen, die zur Definition der Energieentwicklung des Gebäudesektors verwendet werden, sind bezüglich der Entwicklung der Bruttogesamtfläche des Gebäude-Sektors ident mit denen der Studie „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018). Vorgenommene Anpassungen betreffen insbesondere die Energieträgerverteilung: der Biomasse wird im Rahmen der gegenständlichen Studie eine größere Bedeutung beigemessen – sowohl in kleinen Wohnanlagen als auch in Fernwärmenetzen.

Die Kategorien der analysierten Gebäude werden wie folgt unterschieden:

- **Wohngebäude**
 - Einfamilienhaus und Reihenhaushaus (EFH) = 1 freistehende bzw. 1 Wohneinheit
 - Mehrfamilienhaus-Klein (MFH-K) = 2-10 Wohneinheiten
 - Mehrfamilienhaus-Groß (MFH-G) = > 10 Wohneinheiten
- **Nicht-Wohngebäude**
 - Mischnutzung (MN) = Gebäude mit mindestens zwei verschiedenen Nutzungsarten, darunter fallen Hotels und ähnliche Gebäude
 - Gewerbe (GW) = alle weiteren betrachteten Nicht-Wohngebäude wie Büros, Verkaufsstätten oder Beherbergung, Kultur, Freizeit etc.
 - Weitere Nutzung (WN) = Industrie- und Lagergebäude.

Als Datenbasis zu den vorhandenen Wohngebäuden in Tirol dient die Gebäude- und Wohnungszählung 2011 (STATCUBE 2018) – siehe Tab. 9 sowie EBENBICHLER et al. (2018). Bei den Nicht-Wohngebäuden werden zusätzlich Daten aus der Landesstatistik Tirol, Paket RZ2011 (ADTLR 2014) herangezogen – siehe Tab. 10.

Tab. 9: Datenbasis Wohngebäude.

Bauperiode	EFH		MFH-K		MFH-G	
	Anzahl Gebäude	Konditionierte Brutto-Grundfläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	Konditionierte Brutto-Grundfläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	Konditionierte Brutto-Grundfläche gesamt [m²]
bis 1919	11.632	1.695.808	7.884	2.800.633	326	688.624
1920-1944	4.070	566.616	4.407	1.543.166	198	273.261
1945-1960	8.515	1.193.925	7.213	2.213.880	302	498.831
1961-1970	10.824	1.614.918	9.660	3.054.236	554	1.107.504
1971-1980	12.362	1.944.541	9.299	3.088.023	819	1.695.828
1981-1990	13.518	2.246.363	7.039	2.589.251	539	1.039.070
1991-2000	14.619	2.516.036	5.618	2.437.004	525	94.2309
2001-2010	13.841	3.092.802	7.078	3.530.190	773	1.780.798
2011-2015	6.151	1.374.578	3.146	1.568.973	343	791.466

Eine weitere Datengrundlage bildet der Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017). Zu Annahmen über die Eigenschaften bestehender Gebäude (Raumwärmebedarf, Warmwasserbedarf und Strombedarf) siehe EBENBICHLER et al. (2018).

Tab. 10: Datenbasis Nicht-Wohngebäude.

Bauperiode	MN		GW		WN	
	Anzahl Gebäude	Konditionierte Brutto-Grundfläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	Konditionierte Brutto-Grundfläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	Konditionierte Brutto-Grundfläche gesamt [m²]
Bis 1919	1.249	1.436.493	1656	1.895.784	629	556.999
1920-1944	464	411.116	442	432.326	354	336.576
1945-1960	772	816.828	964	1.100.688	676	698.395
1961-1970	1.369	1.570.413	1213	1.449.529	803	1.085.271
1971-1980	1.947	2.367.473	1373	2.542.781	935	1.551.053
1981-1990	1.376	1.931.543	1216	1.549.014	1014	1.526.259
1991-2000	670	482.199	1101	983.355	867	804.764
2001-2010	750	1.185.564	1269	2.271.006	896	1.164.974
2011-2015	333	526.917	635	1.135.503	398	517.766

10.3.1.1 Flächen- und Bevölkerungsentwicklung

Im Bausektor beziehen sich die Annahmen über die Entwicklung in den kommenden Jahrzehnten auf die Bevölkerungsentwicklung, die Renovierungsrate von Gebäuden, die Qualität der renovierten und neuen Gebäude und die Art der Wärmeenergieerzeugung. Dabei werden Annahmen bezüglich der Entwicklung des Fernwärmesystems und der Nutzung von Holz getroffen.

Im Wohnbereich ist die Entwicklung der Brutto-Grundfläche mit der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung (Abb. 13) und der durchschnittlichen Wohnfläche pro Einwohner in Tirol (Abb. 12) verbunden.

Bei Nicht-Wohngebäuden (wobei hier Hotels, Büro- und Industriegebäude berücksichtigt werden) wird angenommen, dass die Zunahme ihrer Fläche mit der Bevölkerungsentwicklung in Tirol zusammenhängt.

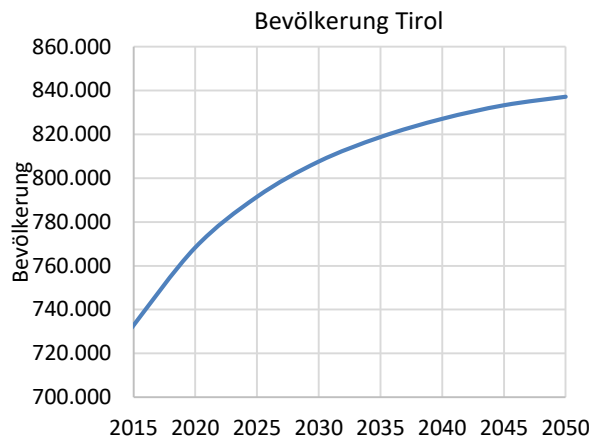


Abb. 13: Angenommene Bevölkerungsentwicklung in Tirol bis 2050.

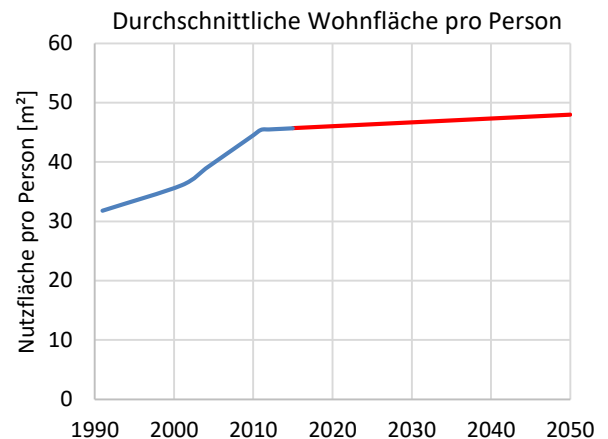


Abb. 12: Durchschnittliche Wohnflächenentwicklung (Nutzfläche) in Tirol bis 2050

10.3.1.2 Abrissrate

Die Abrissrate bestehender Gebäude steht in Zusammenhang mit der Bauzeit und den Renovierungsarbeiten (Tab. 11). Es wird davon ausgegangen, dass nach dem Jahr 2000 errichtete Gebäude in Anbetracht der besseren Qualität und damit längeren Lebensdauer nicht abgerissen, sondern nur renoviert werden.

Tab. 11: Abrissrate in Abhängigkeit der Bauperiode und des betrachteten Zeitraums.

Bauperiode	Jährliche Abrissrate	
	2016-2030	2031-2050
bis 1919	0,60%	0,60%
1920-1944	0,70%	0,70%
1945-1960	0,70%	0,70%
1961-1970	0,70%	0,70%
1971-1980	0,70%	0,70%
1981-1990	0,30%	0,30%
1991-2000	0,00%	0,10%
2001-2010	0,00%	0,00%
2011-2020	0,00%	0,00%
2021-2030	0,00%	0,00%
2031-2040	-	0,00%
2041-2050	-	0,00%

Datengrundlage: DOBLER et al. (2017).

10.3.1.3 Neubau

Die neu gebaute Fläche kommt Jahr für Jahr zur Gesamtgebäudefläche hinzu. Es wird von einer identen Rate der Errichtung neuer Gebäude wie in der Studie „Ressourcen und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICH-

LER et al. 2018) ausgegangen. Die Qualität – ausgedrückt im Heizwärmebedarf – des in den Berechnungen verwendeten Neubaus ist Tab. 12 zu entnehmen. Um den Energiebedarf so schnell wie möglich zu senken, wird eine schrittweise Verbesserung der Qualität im Neubau angesetzt, so dass bereits ab 2023 für alle Gebäudekategorien das Passivhausniveau erreicht wird. Der Warmwasserbedarf (Nutzenergie) wird über alle Bauperioden und alle Gebäudekategorien konstant gemäß Tab. 13 angenommen.

Tab. 12: Angesetzte Neubauqualität in Abhängigkeit der Gebäudekategorie.

Jahr	Heizwärmebedarf Neubau [kWh/m²/a]					
	EFH Tirol 2050	MFH-K Tirol 2050	MFH-G	MN	GW	WN
ab 2015	38	31	24	34	54	34
ab 2017	34	27	21	30	48	30
ab 2019	29	23	18	26	41	26
ab 2021	24	19	15	21	34	21
ab 2023	10	9	9	9	14	9
ab 2025	10	9	9	9	14	9
ab 2027	10	9	9	9	14	9

Tab. 13: Angenommener zukünftiger Warmwasserwärmebedarf (Nutzenergie).

Warmwasserwärmebedarf [kWh/m²/a]					
EFH	MFH-K	MFH-G	MN	GW	WN
13,1	11,8	13,4	9,8	5,7	0,6

10.3.1.4 Sanierung

Ein Schlüsselaspekt bei der Verringerung des Energiebedarfs im Gebäudesektor ist die Renovierung bestehender Gebäude, da der Anteil der bestehenden Gebäude viel höher ist als der Anteil des Neubaus. Es wird davon ausgegangen, dass jedes Jahr **1% des Gebäudebestands** in Tirol (sowohl Wohn- als auch Nicht-Wohngebäude) **umfassend** und ebenfalls **1%/a teilweise renoviert** wird. Da keine Daten über die Renovierungsrate für die verschiedenen Gebäudekategorien vorliegen, wird diese Zahl auf der Grundlage des Raumwärmeenergiebedarfs und der Bauperiode definiert: Die Gebäude mit der höchsten Sanierungsrate sind die ältesten Gebäude und die Gebäude mit der am wenigsten effizienten Gebäudehülle. Gebäudeklassen, die kürzlich renoviert wurden, werden seltener renoviert. Um sowohl **umfassende Sanierungen** als auch **Teilsanierungen** zu berücksichtigen wird davon ausgegangen, dass drei Teilsanierungen einer umfassenden Sanierung gleichwertig sind. Durch Multiplikation der je Gebäudeklasse ermittelten umfassenden Sanierungsrate mit 1,33 ergibt sich eine äquivalente umfassende Sanierungsrate. Die angenommene äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH sind Tab. 14 zu entnehmen.

Für alle Bauperioden nach 2015 wird die äquivalente umfassende Sanierungsrate mit 0% angesetzt, nicht, weil sie nicht von Renovierungsmaßnahmen betroffen sind, sondern weil solche Maßnahmen ihren Energiebedarf nicht wesentlich beeinflussen würden.

Bei einer äquivalenten umfassenden Sanierung wird davon ausgegangen, dass sie nicht nur die Verbesserung der Gebäudehülle, sondern auch den Austausch der Heizungs- und Warmwassersysteme umfasst.

Als notwendige Voraussetzung für eine Sanierung wurde festgelegt, dass diese nur dann erfolgen darf, wenn die Sanierungsqualität (Tab. 15) tatsächlich besser ist als die des Bestandes und wenn in den letzten 25 Jahren keine Sanierung oder ein Austausch des Heizsystems stattgefunden hat.

Die Festlegung der jährlich sanierten Brutto-Grundfläche verläuft daher wie folgt:

1. Ermittlung des Anteils der bestehenden Brutto-Grundfläche für jede Bauperiode, der die unten beschriebenen Kriterien erfüllt.
2. Definition der tatsächlich sanierten Brutto-Grundfläche unter Verwendung der äquivalenten umfassenden Sanierungsrate (für Einfamilienhäuser in Tab. 14 angeführt). Die für die Definition des Szenarios 2040 verwendeten Annahmen finden sich in den Tabellen in Kap.11.3.

Tab. 14: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode.

Bauperiode		Sanierungszeitraum	Sanierungszeitraum	Sanierungszeitraum
von	bis	2016-2020	2021-2030	2031-2050
	1919	4,3 %	3,9 %	3,9 %
1920	1944	2,7 %	2,8 %	2,8 %
1945	1960	1,3 %	1,3 %	1,3 %
1961	1970	1,5 %	1,5 %	1,3 %
1971	1980	2,7 %	2,7 %	2,5 %
1981	1990	0,7 %	1,3 %	1,3 %
1991	2000	1,3 %	1,3 %	1,9 %
2001	2010	0,0 %	0,7 %	1,3 %
2011	2015	0,0 %	0,0 %	0,7 %
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %
2041	2050	-	-	0,0 %

Tab. 15: Angesetzte Sanierungsqualität in Abhängigkeit der Gebäudekategorie.

Jahr	Heizwärmebedarf Sanierung [kWh/m²/a]									
	EFH IEP	RH IEP	EFH Tirol 2050	MFH-K IEP	MFH-M IEP	MFH-K Tirol 2050	MFH-G	MN	GW	WN
ab 2015	67	61	64	59	47	53	43	45	70	45
ab 2017	61	56	59	54	43	49	39	41	64	41
ab 2019	56	51	54	49	39	44	35	37	58	37
ab 2021	50	45	48	43	35	39	31	33	52	33
ab 2023	32	29	31	28	23	26	20	21	33	21
ab 2025	32	29	31	28	23	26	20	21	33	21
ab 2027	32	29	31	28	23	26	20	21	33	21

10.3.1.5 Austauschrate des Heizsystems

In dem verwendeten Modell wurde neben der umfassenden Sanierung (das heißt Verbesserung der Gebäudehülle und Austausch des Heizungs- und Warmwassersystems) auch der Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme berücksichtigt.

Im Modell für das Szenario 2050 ist ein Austausch des Heizsystems nur dann vorgesehen, wenn in den letzten 25 Jahren keine andere Maßnahme ergriffen wurde. Die durchschnittliche Austauschrate des Heizsystems in Wohngebäuden wird auf etwa 3,3% pro Jahr geschätzt. Tab. 16 zeigt die Austauschrate für den Wohnbereich nach Bauperiode: der beobachtete Anstieg bei den Neubauten ist auf die Notwendigkeit zurückzuführen, die letzten gasbeheizten Anlagen zu ersetzen, deren Installation bis 2020 geplant ist.

Analog zur Vorgangsweise bei den zu sanierenden Flächen erfolgt die Bestimmung der Fläche, die durch einen Austausch des Heizsystems gekennzeichnet ist, folgendermaßen:

1. Definition der Fläche für jede Bauperiode, die die Kriterien erfüllt (keine Maßnahme in den letzten 25 Jahren) und somit für einen Wechsel des Heizsystems zur Verfügung steht.
2. Bestimmung der Brutto-Grundfläche, bei der im Modell das Heizsystem auszutauschen ist (Einzelmaßnahme). Dafür wird die Gesamt-Austauschrate gemäß Tab. 16 herangezogen. Sie wird mit der zu Beginn des betrachteten Jahres je Bauperiode vorhandenen Brutto-Grundfläche – entspricht dem Wert am Ende des Vorjahres – multipliziert. Die zu sanierende Brutto-Grundfläche wird davon abgezogen, da bei dieser ein Austausch des Heizsystems bereits enthalten ist. Das erhaltene Ergebnis wird gegebenenfalls reduziert, falls es die verfügbare Brutto-Grundfläche überschreitet. Es ergibt sich die Brutto-Grundfläche, bei der das Heizsystem in Form einer Einzelmaßnahme erneuert wird.

Tab. 16: Gesamt-Austauschrate Heizsystem (inklusive äquivalenter umfassender Sanierung) nach Bauperiode für Wohngebäude.

Bauperiode	Jährliche Austauschrate des Heizsystems		
	2016-2020	2021-2030	2031-2050
bis 1919	3,3%	3,7%	3,7%
1920-1944	3,3%	3,7%	3,7%
1945-1960	3,3%	3,7%	3,7%
1961-1970	3,3%	3,7%	3,7%
1971-1980	3,3%	3,7%	3,7%
1981-1990	3,3%	3,8%	3,9%
1991-2000	3,3%	4,2%	3,8%
2001-2010	3,3%	4,9%	4,9%
2011-2015	3,3%	7,0%	7,0%
2016-2020	3,3%	10,0%	10,0%
2021-2030	-	3,3%	3,3%
2031-2040	-	-	3,3%
2041-2050	-	-	3,3%

10.3.2 Nutzenergiebedarf 2016 und 2050

Der Endenergiebedarf für 2016 wird als Grundlage für die Berechnung der folgenden Jahre verwendet: Dieser Wert für den Gebäudesektor liegt bei 35 567 TJ. Der Wert der tatsächlich verfügbaren Nutzenergie wird anhand der Wirkungsgrade der vorhandenen Anlagen berechnet und entspricht **30 536 TJ**. In den folgenden Jahren wird Dank fortschreitender Verbesserung der Gebäudehülle und dem Austausch veralteter und ineffizienter Anlagen ein allmählicher Rückgang des Endenergiebedarfs erwartet. Gleichzeitig garantiert die Verbesserung der Effizienz der eingesetzten Technologien eine progressive Erhöhung der Nutzenergie im Verhältnis zur Endenergie.

Für 2050 wird mit den angesetzten Hypothesen ein Nutzenergiebedarf von **21 572 TJ** erwartet.

10.3.3 Eingesetzte Technologien 2050 und deren Wirkungsgrade

Im Bausektor kann der Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien auf den Einsatz verschiedener Technologien setzen. Um das Ziel von 0 % fossilen Brennstoffen bis 2050 zu erreichen, sind die vielversprechendsten Technologien Biomasse, Wärmepumpen und fossilfreie Fernwärme.

Angesichts der großen Verfügbarkeit von **Biomasse** in Tirol wird davon ausgegangen, dass bestehende Gebäude mit einem Biomasseheizungssystem diese Technologie auch bei einem Anlagenaustausch weiter nutzen werden. Bei Neubauten hingegen wird aufgrund der besseren Leistung der Gebäudehülle und des Einsatzes neuer Verteilersysteme (Fußbodenheizung) davon ausgegangen, dass die **Wärmepumpe** die häufigste Art von System ist. Der Einsatz von Wärmepumpen wird durch den zunehmenden Einsatz von **Photovoltaikanlagen** unterstützt, die mit-helfen, den erhöhten Strombedarf für diese Art von Technologie zu decken. Auf die Problematik der saisonalen Speicherung von Strom wird hier nicht eingegangen. Bezüglich der **Fernwärme** wird davon ausgegangen, dass das Netz vor allem für Nutzer wie Mehrfamilienhäuser deutlich ausgebaut wird, da es die Integration erneuerbarer Quellen (Biomasse) und die zentralisierte Energieerzeugung mit geringeren Verlusten als bei Einfamilienhäusern ermöglicht.

Innovationen sowie die zunehmende Aufmerksamkeit für Energieeinsparungen ermöglichen eine allmähliche lineare Verbesserung der Effizienz der verschiedenen Energieerzeugungssysteme (Tab. 17).

Tab. 17: Angenommene Wirkungsgrade für Raumwärme in Abhängigkeit von verwendeten Energieträger in Wohngebäuden.

Energieträger	Wirkungsgrad η_{RH}	
	2000	2050
Öl	0,89	0,90
Gas	0,92	0,93
Kohle	0,70	0,72
Holz	0,72	0,75
Fernwärme	0,91	0,92
Strom (Wärmepumpe ausgenommen)	1,00	1,00
Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl Endenergie)	3,00	3,50
Wärmepumpe (nur Speicher und Verteilung)	0,88	0,88
Solarthermie (nur Speicher und Verteilung)	0,88	0,88

10.3.4 Endenergiebedarf 2050, eingesetzte Energieträger und zeitlicher Verlauf

Gemäß Kap. 10.3.3 werden jene Energieträger verwendet, die den in den kommenden Jahren den vorherrschenden Technologien entsprechen: **Holz für Biomasseanlagen** sowie **Strom und Umweltenergie für Wärmepumpen**. Tab. 18 bis Tab. 21 zeigen als Beispiel die Energieträgerverteilung von bestehenden (und daher renovierten) und neuen Einfamilienhäusern. Die Tabellen in Kap. 18.1 zeigen die Annahmen für alle analysierten Gebäudekategorien.

Tab. 18: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)	
Energieträger Raumwärme bei Neubau	2021-2050
Öl	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%
Gas	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	0,0%
Kohle	0,0%
Fernwärme	1,7%
Holz	2,9%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	2,9%
Strom (ohne Wärmepumpe)	3,5%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	3,5%
Wärmepumpe	91,8%

Tab. 19: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für EFH nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)	
Energieträger Raumwärme bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2021-2050
Öl	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%
Gas	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	0,0%
Kohle	0,0%
Fernwärme	3,8%
Holz	52%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	2,9%
Strom (ohne Wärmepumpe)	2,9%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	2,9%
Wärmepumpe	44,2%

Tab. 20: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	41,3%	38,2%
Öl	0,6%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	29,9%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	6,0%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,9%	1,7%
Holz	1,0%	0,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,4%	3,5%
Wärmepumpe	2,6%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	2,1%	0,0%
Gas	2,1%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	3,7%	0,0%
Strom	3,7%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	0,1%	10,0%
Wärmepumpe	0,1%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	49,5%	48,6%
Öl	0,2%	0,0%
Gas	43,8%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	5,5%	48,6%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. E-Heizstab)	3,3%	3,3%
Strom	3,3%	3,3%

Tab. 21: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für EFH nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	49,0%	60,8%
Öl	13,4%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	1,1%	0,0%
Gas	5,6%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	4,7%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	1,9%	3,8%
Holz	21,2%	21,2%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Wärmepumpe	1,2%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	0,0%	0,0%
Gas	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	43,8%	0,0%
Strom	43,8%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	3,9%	25,9%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	1,6%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,3%	25,9%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. E-Heizstab)	3,3%	3,3%
Strom	3,3%	3,3%

Der Verlauf des Gesamt-Energiebedarfs von Tirol für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude ist in Abb. 14 dargestellt. Der Gesamtstrombedarf inklusive Strom für Wärmepumpen bleibt annähernd gleich, da der Einsatz von Wärmepumpen parallel zur Verbesserung der Anlagenwirkungsgrade der Haushaltsgeräte erfolgt. Der Fernwärmeanteil wird in Bezug auf die angeschlossenen Quadratmeter Gebäudefläche stark erhöht, aufgrund der Sanierung wird jedoch pro Gebäude weniger abgesetzt, sodass der Energiebedarf an Fernwärme etwa konstant bleibt.

Unter Berücksichtigung der oben erwähnten Annahmen wird der Endenergiebedarf des Jahres 2050 im Vergleich zu 2016 **um 31,4 % reduziert**. Falls Solarthermie und Umweltwärme genutzt am Gebäude als Reduktion des Gebäudeenergiebedarfs gesehen wird, beträgt die Reduktion sogar 54,9%.

Durch den erhöhten Austausch von Heizsystemen und die Installation von Heizsystemen, die ausschließlich aus erneuerbaren Quellen bedient werden, werden im Jahr 2050 keine fossilen Energieträger mehr eingesetzt. Strom und Fernwärmeenergie werden aus erneuerbaren Quellen erzeugt.

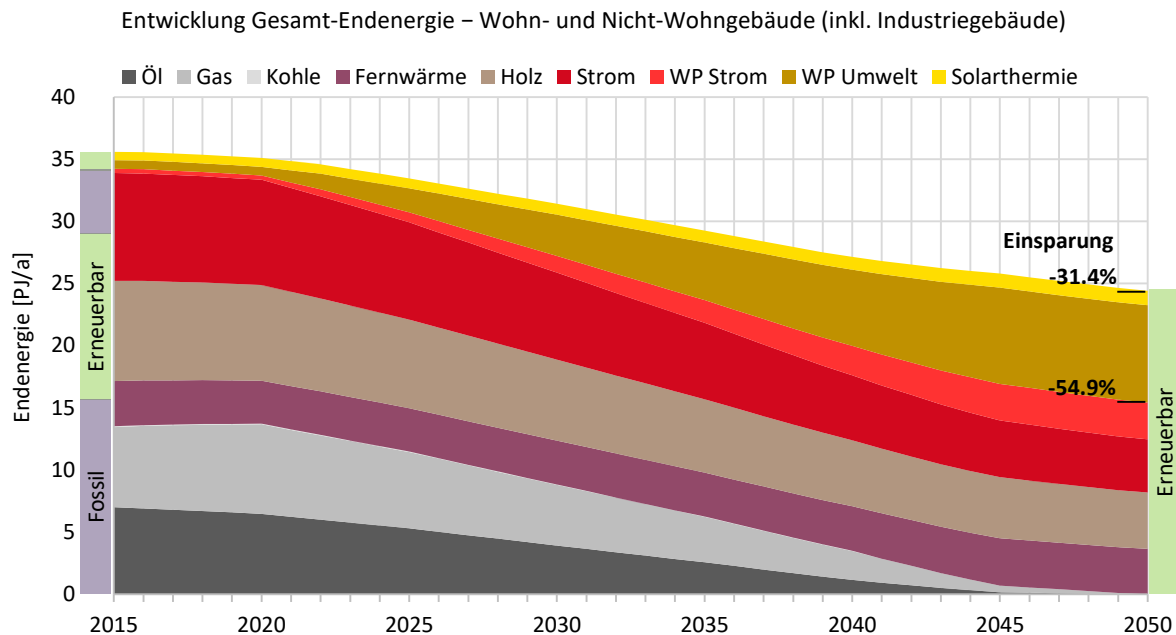


Abb. 14: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario 2050 für den Gebäudebereich (Wohn- und Nicht-Wohngebäude inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie).

10.3.5 Zwischenziel 2030

Das maßgebliche Mittel zur Erreichung der Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen bis zum Jahr 2050 ist im Gebäudebereich der Ersatz durch Systeme, die auf erneuerbaren Quellen basieren – allen voran die zunehmende Durchdringung des Gebäudebestands durch Fernwärme und Wärmepumpen.

Die Bezifferung der notwendigen Anzahl von Wohn- und Nichtwohn-Gebäuden mit Heizwärmesystemen auf Basis von Fernwärme bzw. Wärmepumpen im Jahr 2030 (Tab. 22 bis Tab. 24) zeigt das zu verfolgende Zwischenziel auf dem Weg zur Zielerreichung „100 % Erneuerbare“ im Jahr 2050. Um das in Abb. 14 dargestellte Ziel „2050“ zu erreichen, ist es notwendig, den Einsatz von fossilen Brennstoffen im Gebäudesektor bis zum Jahr 2030 um 35 % zu reduzieren (Abb. 15). Dieses Ziel kann nicht nur durch den „einfachen“ Ersatz bestehender fossiler Anlagen auf Erneuerbare erreicht werden, sondern muss mit der Sanierung von Gebäuden einhergehen.

Eine Übersicht über die Gesamtzahl der Gebäude in den Jahren 2016 und 2030 ist in der Tab. 22 dargestellt.

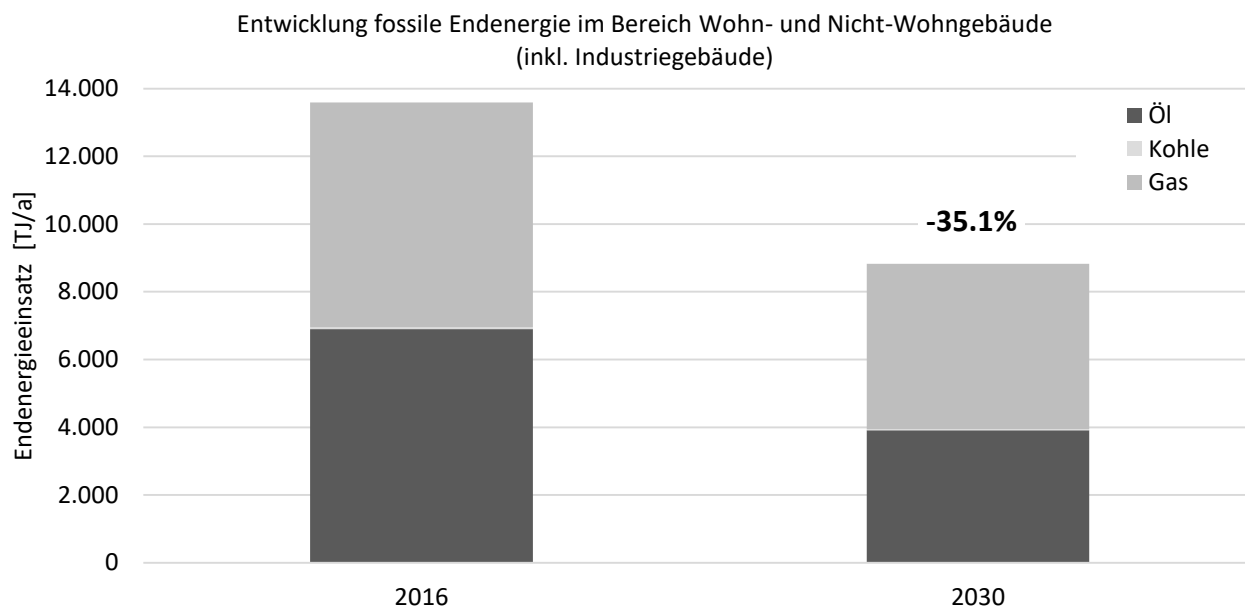


Abb. 15: Endenergie aus fossilen Energieträgern im Basisjahr 2016 und Zwischenziel 2030.

Tab. 22: Gesamt Gebäudeanzahl pro Gebäudekategorie in Jahren 2016 und 2030 sowie Anzahl von Gebäuden mit Fernwärme- und Wärmepumpen-Heizsystem.

Jahr	Wohngebäude			Nicht-Wohngebäude		
	EFH	MFH-K	MFH-G	MN	GW	WN
	Gesamt-Gebäudeanzahl					
2016	96.230	61.763	4.419	8.985	9.930	6.634
	162.412			25.549		
	187.961					
2030	102.994	65.760	4.823	9.460	10.475	7.216
	173.577			27.151		
	200.728					
	mit Fernwärme					
2016/2030	+2.043 angeschlossene Gebäude (+17%)			+1.152 angeschlossene Gebäude (+30%)		
2030	18.746 (9 % am Gesamt-Gebäudebestand)					
	mit Wärmepumpe					
2016/2030	+28.572 versorgte Gebäude (+218%)			+5.128 versorgte Gebäude (+125%)		
2030	50.872 (25 % am Gesamt-Gebäudebestand)					

Eine Abschätzung der notwendigen Maßnahmen und der neuen Gebäude pro Gebäudekategorie im Zeitraum 2016 bis 2030 ist in Tab. 23 und Tab. 24 dargestellt.

Tab. 23: Anzahl von neuen Wohngebäuden und Wohngebäuden mit Heizanlagentausch (HAT) (als einzelne Maßnahme und innerhalb einer Sanierung).

	Neubau im Zeitraum 2016-2030 [Gebäudeanzahl]			mit HAT-Tausch im Zeitraum 2016-2030 [Gebäudeanzahl]		
	EFH	MFH-K	MFH-G	EFH	MFH-K	MFH-G
gesamt	12.639	8.465	683	38.847	25.016	1.721
davon						
mit Fernwärme	173	301	194	1.330	5.106	523
mit Wärmepumpe	7.407	4.646	248	14.103	7.878	745

Tab. 24: Anzahl von neuen Nicht-Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden mit Heizanlagentausch (HAT) (als einzelne Maßnahme und innerhalb einer Sanierung).

	Neubau im Zeitraum 2016-2030 [Gebäudeanzahl]			mit HAT-Tausch im Zeitraum 2016-2030 [Gebäudeanzahl]		
	MN	GW	WN	MN	GW	WN
gesamt	1.153	1.202	1.019	3.825	3.962	2.652
davon						
mit Fernwärme	154	239	299	576	905	728
mit Wärmepumpe	578	501	402	2.089	1.878	1.499

10.4 Ergebnisse Szenario 2050

10.4.1 Nutzenergie

Die Zusammenführung der Nutzenergieergebnisse der Sektoren Mobilität, Produktion und Sonstiges / Gebäude zeigt für das Szenario 2050 insgesamt abnehmende Energiemengen trotz hinterlegter steigender Bevölkerungszahlen, eines angenommenen Wirtschaftswachstums sowie eines gegenüber heute nicht geänderten Mobilitätsverhaltens. Liegt der Nutzenergiebedarf im Jahr 2016 bei rund 50.500 TJ, so sinkt er über rund 48.500 TJ im Jahr 2030 auf **rund 44.200 TJ im Jahr 2050**, was einer **Reduktion um rund 12 %** über einen Zeitraum von 35 Jahren entspricht (Tab. 25).

Der Anteil Erneuerbarer Energie betrug im Jahr 2016 auf Nutzenergieebene rund 54 %. Im Jahr 2030 soll er gemäß Szenario 2050 bei 64 % liegen – für das Jahr 2050 wird schließlich eine vollständige Bedarfsdeckung durch Erneuerbare Energieträger angestrebt.

Tab. 25: Zwischenziel- und Endwerte des Szenarios 2050 auf Nutzenergieebene.

Nutzenergie Szenario 2050	Absolut [TJ]			Änderung ggb. 2016	
	2016	2030	2050	2030	2050
Gesamt	50.467	48.528	44.159	-4%	-12%
Fossil	22.993	17.525	-	-24%	-100%
Erneuerbar	27.474	31.002	44.159	+13%	+61%
Strom	15.065	16.198	21.308	+7%	+41%
Holz	7.464	6.215	4.621	-17%	-38%
Fernwärme	3.355	3.481	3.781	+4%	+13%
Umweltwärme	609	3.182	7.524	+420%	+1.140%

Dem Energieträger Strom kommt die bedeutendste Rolle zu. Lag sein Anteil im Jahr 2016 auf Nutzenergieebene bei 30 %, so soll sein Anteil 2030 bereits 33 % und 2050 schließlich rund 48 % betragen. Der Anteil des Energieträgers Holz (Scheitholz, Hackschnitzel, Pellets, Holzabfälle etc.) betrug 2016 rund 15 %. Im Jahr 2050 wird sein Anteil bei gut 10 % des Nutzenergiebedarfs liegen. Der Bedarf an Fernwärme wird über den betrachteten Zeitraum absolut gesehen geringfügig zunehmen (plus 13 %), der der Umweltwärme sich mehr als verzehnfachen. Im Jahr 2050 wird die Umweltwärme gemäß Szenarienberechnung rund 17 % des Nutzenergiebedarfs stellen (Tab. 25).

Abb. 16 stellt die Entwicklung des gemäß Szenarienberechnung erwarteten Nutzenergiebedarfs sowie die für die Bedarfsdeckung eingesetzten Energieträger graphisch dar. Gut ersichtlich ist der auslaufende Keil fossiler Energieträger an der Basis (in Grautönen dargestellt), der **leicht zunehmende Bedarf an Strom** sowie der **stark zunehmende Bedarf an Umweltwärme und Wasserstoff**. Leichte Verluste sind für den Energieträger Holz zu verzeichnen. Der absolute Bedarf der Fernwärme bleibt in etwa konstant, jedoch werden aufgrund zunehmend energieeffizienter werdender Gebäude zunehmend mehr Gebäude mittels Fernwärme versorgt.

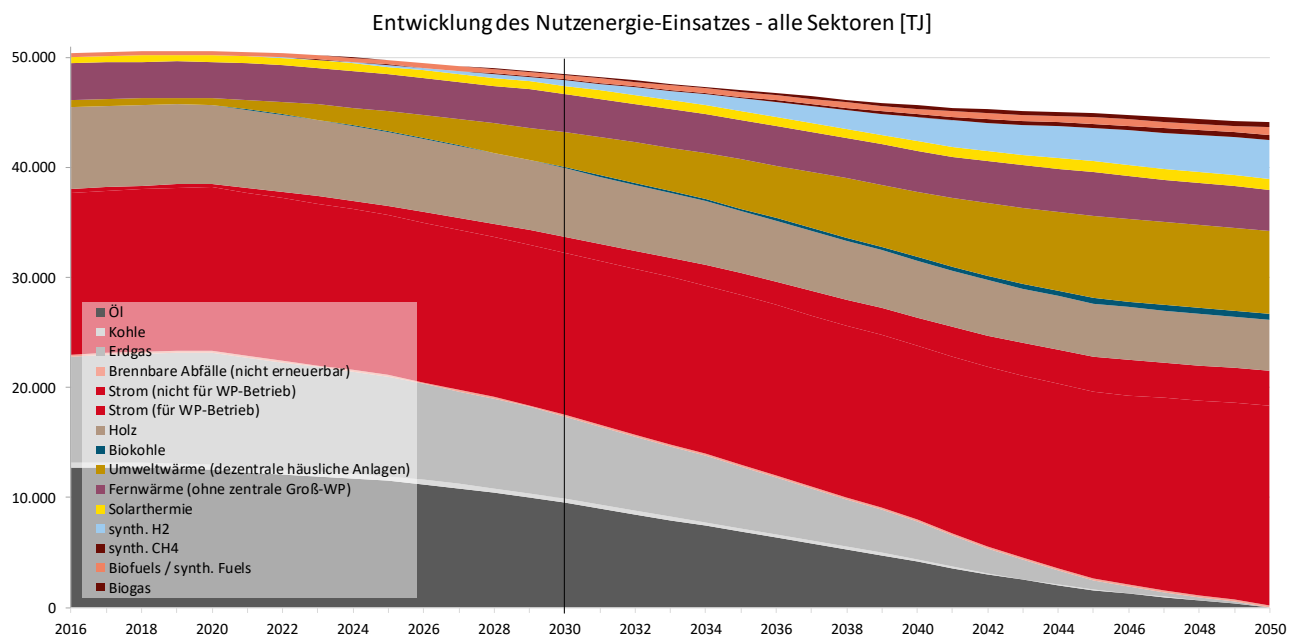


Abb. 16: Entwicklung des Nutzenergie-Einsatzes in Tirol im Szenario 2050.

10.4.2 Endenergie

Die zusammengeführten Ergebnisse der Endenergieanalysen der Sektoren Mobilität, Produktion und Sonstiges / Gebäude zeigen einen **deutlichen Rückgang der eingesetzten Energiemenge** auf Ebene der Endenergie zwischen 2016 mit rund 87.000 TJ über 2030 (rund 81.800 TJ) bis ins **Jahr 2050 mit rund 54.700 TJ** um insgesamt **rund 37%** (Tab. 26).

2016 betrug der Anteil Erneuerbarer am Endenergieeinsatz rund 41 %. Dieser Wert soll bis 2030 auf rund 47 % steigen. Um im Jahr 2050 den Endenergiebedarf durch Erneuerbare zu decken, ist der Einsatz Erneuerbarer gegenüber dem Einsatz des Jahres 2016 um rund 54 % zu erhöhen (Tab. 26).

Dem Energieträger **Strom** wird ein **deutlicher Bedeutungsgewinn** zugeschrieben. Beträgt der Anteil des Stroms am Endenergieeinsatz des Jahres 2016 noch 20 %, so steigt dieser Wert gemäß Ergebnissen der Analysen im Szenario 2050 auf **rund 45 % im Jahr 2050**. Der Strombedarf auf Endenergieebene wird dann voraussichtlich rund 6.850 GWh betragen gegenüber rund 4.900 GWh im Jahr 2016.

Der Anteil der **Umweltwärme** wird im Jahr 2050 **rund 17 % des Endenergiebedarfs** stellen – im Vergleich dazu: 2016 lag ihr Anteil bei unter 1 %. Der relative Deckungsbetrag des Energieträgers Holz bleibt über den betrachteten Zeitraum relativ konstant und liegt bei elf bis zwölf Prozent des Endenergieeinsatzes. Größere Anteile an der Endenergiebedarfsdeckung weist neben dem Wasserstoff mit 10 % auch die Fernwärme mit 8 % auf (Tab. 26).

Tab. 26: Zwischenziel- und Endwerte des Szenarios 2050 auf Endenergieebene.

	2016		2030		2050		Änderung ggb. 2016	
	[TJ]*	[%]	[TJ]	[%]	[TJ]	[%]	2030	2050
Gesamt	87.009	100%	81.806	100%	54.660	100%	-6%	-37%
Fossil	51.522	59%	43.134	53%	-	0%	-16%	-100%
Erneuerbar	35.488	41%	38.672	47%	54.660	100%	+9%	+54%
Strom	17.616	20 %	18.292	22 %	24.641	45 %	+4%	+40%
Umweltwärme	705	1 %	3.670	4 %	8.679	16 %	+420%	+1130%
Holz	10.874	12 %	8.935	11 %	6.508	12 %	-17%	-40%
Fernwärme	3.723	4 %	3.845	5 %	4.160	8 %	+3%	+11%
Solarthermie	682	1 %	885	1 %	1.181	2 %	+30%	+73%
Biokohle	10	0 %	202	0 %	970	2 %		
Wasserstoff	0	0 %	771	1 %	5.213	10 %		
(synth.) Methan	0	0 %	241	0 %	1.199	2 %		
Synth. Fuels / P2L	1.878	2 %	1.831	2 %	1.807	3 %	-3%	-4%
Brennbare Abfälle	266	0 %	267	0 %	279	1 %	+0%	+5%
Öl	36.787	42 %	32.121	39 %	0	0 %	-13%	-100%
Kohle	992	1 %	773	1 %	0	0 %	-22%	-100%
Gas	13.477	15 %	9.972	12 %	0	0 %	-26%	-100%

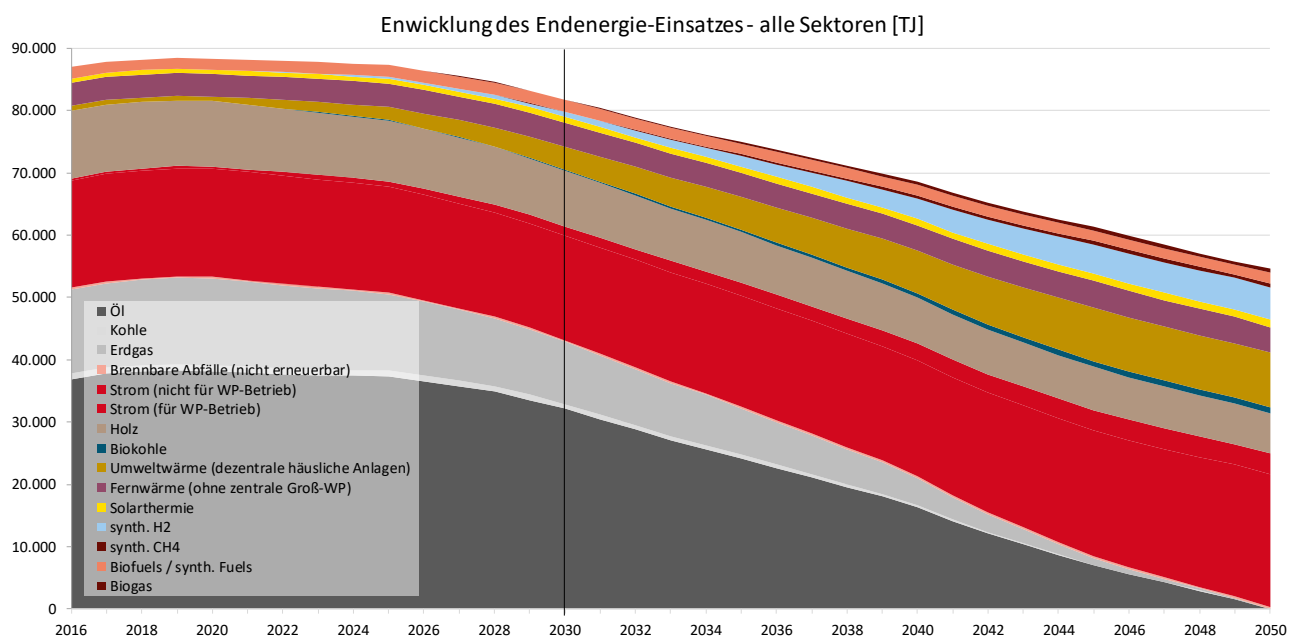


Abb. 17: Entwicklung des Endenergie-Einsatzes in Tirol im Szenario 2050.

Abb. 17 stellt die Entwicklung des gemäß Szenarienberechnung erwarteten Endenergiebedarfs sowie die für die Bedarfsdeckung eingesetzten Energieträger dar. Gut ersichtlich ist der auslaufende Keil fossiler Energieträger an der Basis (in Grautönen dargestellt), der **zunehmende Bedarf an Strom und Fernwärme** sowie der **stark zunehmende Bedarf an Umweltwärme und Wasserstoff**. Verluste sind für den Energieträger Holz zu verzeichnen.

Der insgesamt stärkere Rückgang eingesetzter Energiemengen auf Endenergieebene (zwischen 2016 und 2050 um rund 37 %) gegenüber der Nutzenergieebene (im gleichen Zeitraum um 12 %) zeigt die durch den Umbau des Energiesystems durch Substitution fossiler Energieträger und Technologiewechsel ausgelöste Effizienzsteigerung in diesem Bereich deutlich. Betrug die absoluten Verluste beim Übergang von der Endenergie- zur Nutzenergieebene im Jahr 2016 noch 36.500 TJ, so liegen sie gemäß Szenario im Jahr 2050 noch bei rund 10.500 TJ – trotz hinterlegtem Wirtschaftswachstum und steigender Bevölkerungszahlen.

10.4.3 Eingesetzte Energiemengen im Szenario 2050

Die eingesetzten Energiemengen und Energieträger des Jahres 2016 basieren auf den Daten der STATISTIK AUSTRIA (2017). Im Rahmen der gegenständlichen Studie wurden die notwendigen eingesetzten Energiemengen und -arten für das Jahr 2050 sowie das Zwischenziel 2030 ermittelt. Abb. 18 zeigt auf diesen Werten aufbauend eine grobe Verlaufskurve für den Zeitraum 2016 bis 2050. Dabei wurden die eingesetzten Mengen zwischen den Jahren 2016, 2030 und 2050 vereinfacht linear dargestellt, da ein jahresgenauer Anlagenausbau nicht belastbar prognostiziert werden kann. Die Entwicklung des Endenergie- sowie des Nutzenergiebedarfs sind ergänzend gestrichelt eingetragen und zeigen damit die auftretenden Verluste zwischen den dargestellten Energieebenen. Die Gruppe „Sonstige Biogene“ umfasst u.a. die durch die STATISTIK AUSTRIA (2017) ausgewiesenen Energieträger „Bioethanol“, „Biodiesel“, „Sonstige Biogene fest“ und „Sonstige Biogene flüssig“, die im Rahmen der Szenarienbetrachtung nicht gesondert ausgewiesen wurde. Dementsprechend läuft die Rubrik „Sonstige Biogene“ in Abb. 18 bis zum ersten berechneten Wert (Jahr 2030) aus – die für 2016 ausgewiesenen Werte gehen in den restlichen Energieträgern auf.

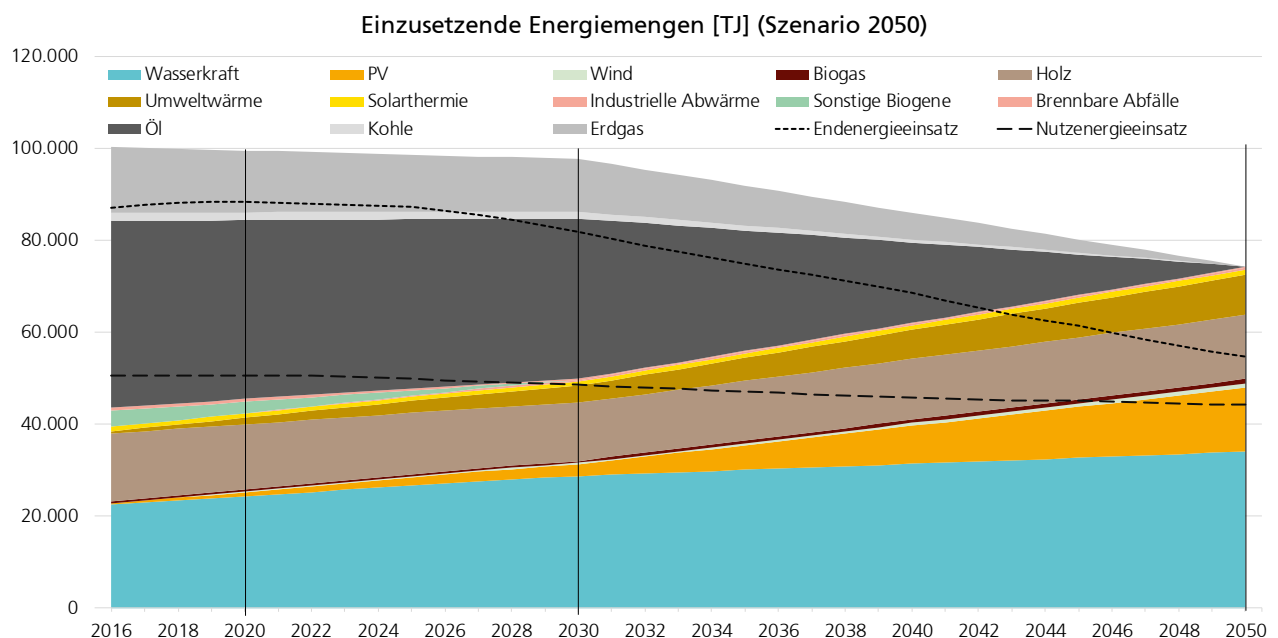


Abb. 18: Entwicklung der einzusetzenden Energiemengen im Szenario 2050.

Abb. 18 zeigt einen **generell notwendigen starken Ausbau der Nutzung aller Erneuerbarer Energieträger**. Deutlich zeigt sich er sich v.a. in den Bereichen **Wasserkraft** sowie **Photovoltaik**, um dem erkannten Bedeutungsgewinn des Stroms auf Endenergieebene gerecht zu werden. Ebenfalls markant zeigt sich der notwendige starke Ausbau der Nutzung der **Umweltwärme**, die v.a. zur Wärmebereitstellung im Sektor Gebäude benötigt wird. Tab. 27 gibt einen vertieften Überblick über die Entwicklung einzusetzender Energieträger des Szenarios 2050.

Tab. 27: Einzusetzende Energie 2016 , 2030 und 2050 des Szenarios 2050.

	2016		2030		2050		Änderung ggb. 2016	
	[TJ]	[%]	[TJ]	[%]	[TJ]	[%]	2030	2050
Gesamt	100.304	100 %	97.770	100 %	74.278	100 %	-3 %	-26 %
Fossil	57.472	57%	48.227	49%	0	0 %	-16 %	-100 %
Erneuerbar	42.832	43%	49.543	51%	74.278	100 %	+16 %	+73 %
Wasserkraft	22.411*	22 %	28.696	29 %	33.991	46 %	+28%**	+52%**
PV Dach	250	0 %	2.432	2 %	11.940	16 %	+870%	+4.700%
PV Freifläche	9	0 %	100	0 %	2.008	3 %	+900%	+22.300%
Wind	0	0 %	300	0 %	900	1 %		
Biogas	401	0 %	429	0 %	951	1 %	+7%	+137%
Holz	14.858	15 %	12.651	13 %	13.910	19 %	-15%	-6%
Umweltwärme	489	0 %	3.710	4 %	8.779	12 %	+660%	+1.700%
Solarthermie	891	1 %	885	1 %	1.181	2 %	-0%	+33%
Brennbare Abfälle	778	1 %	267	0 %	279	0 %	-66%	-64%
Industr. Abwärme	0	0 %	340	0 %	340	0 %		
Öl	40.613	40 %	34.969	36 %	0	0 %	-14%	-100%
Kohle	1.815	2 %	1.413	1 %	0	0 %	-22%	-100%
Gas	14.266	14 %	11.578	12 %	0	0 %	-19%	-100%
sonst. Biogene	3.523	4 %	-	-	-	-	-	-

* Wert 2016: tatsächliche Wasserkrafterzeugung gemäß STATISTIK AUSTRIA (2017), Werte 2030 und 2050: RAV.

** Angabe gegenüber tatsächlichem Erzeugungswert 2016. Gegenüber RAV 2011: 2030: +20%; 2050: +42%.

10.4.4 Vereinfachte Flussbilder Szenario 2050

Abb. 19 und Abb. 20 stellen die sich ergebenden Energieflussbilder des Szenarios 2050 zum Zeitpunkt 2030 (Zwischenziel) und 2050 stark vereinfacht dar.

Die Energieflüsse sind entsprechend ihrer absoluten Werte verschieden breit dargestellt und farblich nach Erneuerbar (grün) und Fossil (grau) eingefärbt. Es zeigt sich, dass die noch eingesetzten fossilen Energieträger des Jahres 2030 durch den bis 2050 zu vollziehenden Gesamtumbau des Energiesystems im Jahr 2050 vollständig ersetzt sind. Die aufgetragenen absoluten Summenwerte von einzusetzender Energie, Endenergie und Nutzenergie zeigen das zunehmend energieeffizienter werdende Energiesystem bis in das Jahr 2050. Bei nur gering gestiegenem Nutzenergiebedarf bedarf es einem deutlich geringeren Endenergieeinsatz sowie einem nochmals reduzierten Einsatz einzusetzender Energie.

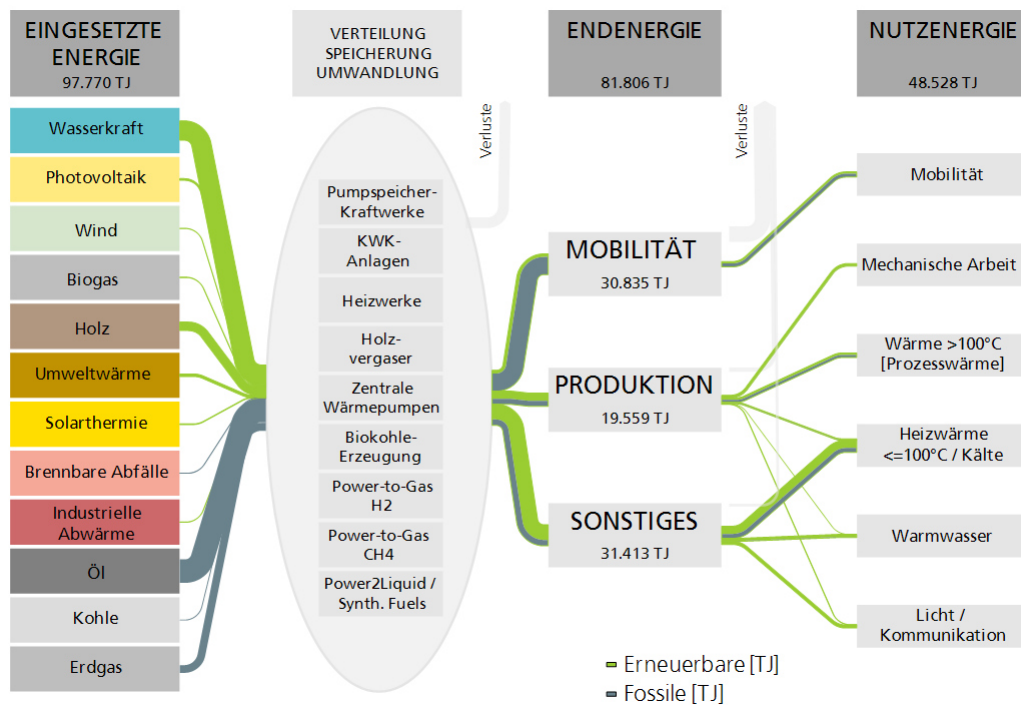


Abb. 19: Vereinfachtes Flussbild des Szenarios 2050 im Jahr 2030 (Zwischenziel).

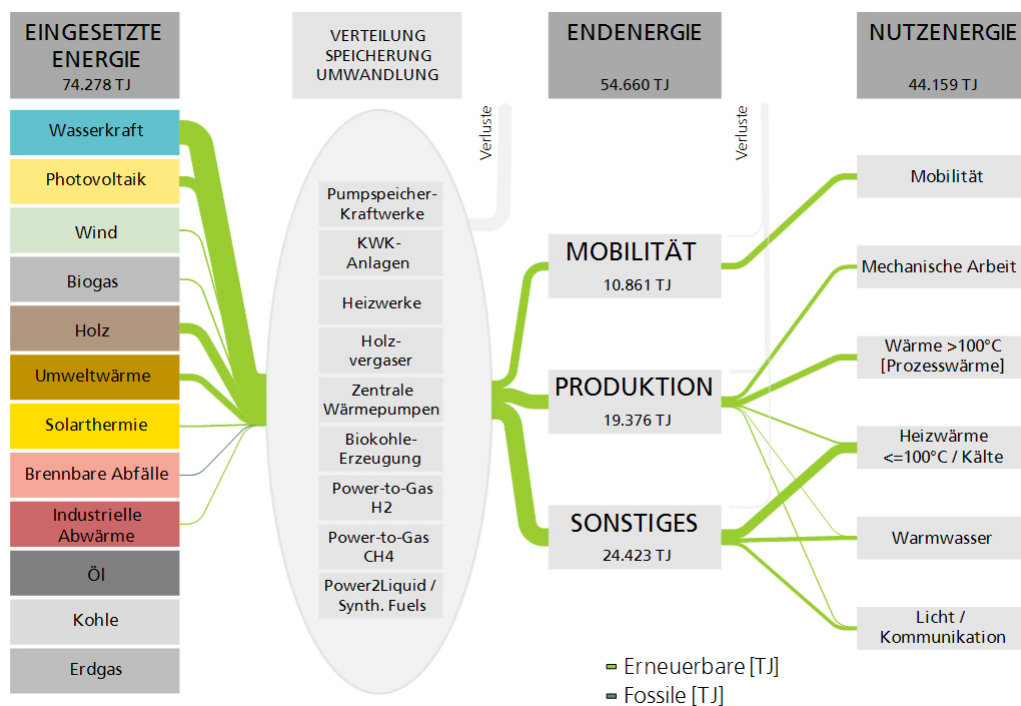


Abb. 20: Vereinfachtes Flussbild des Szenarios 2050 im Jahr 2050.

10.4.5 Möglicher benötigter Anlagenausbau im Szenario 2050

Im Folgenden wird für das Zieljahr 2050 sowie das Zwischenzieljahr 2030 **grob der mögliche notwendige Anlagenbestand** zur Erzeugung der eingesetzten Energiemengen angeführt. Eine jeweils vorangestellte Übersicht beziffert die derzeitige Erzeugung und die sich für das Jahr 2030 bzw. 2050 gemäß Szenarienergebnis ergebende „Erzeugungslücke“, die über zusätzliche Anlagen im Saldo zu decken ist.

Zur besseren Veranschaulichung werden die Energiemengen im Folgenden in [GWh] angegeben.

Wasserkraftwerke

Erzeugung 2020 (RAV)	6.800 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2030 (RAV)	1.200 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2050 (RAV)	2.600 GWh

Der notwendige Anlagenausbau orientiert sich an den Ausführungen in Kap. 8.1.

Photovoltaik-Anlagen

Erzeugung 2019	109 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2030	594 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2050	3.765 GWh

Gemäß Tiroler Energiemonitoring 2019 (HERTL et al. 2020) betrug die installierte Leistung von insgesamt 8.146 netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen in Tirol Ende 2019 rund 114 MW_p, – im Schnitt demnach rund 14 kW_p/Anlage. Die Erzeugung betrug rund 109 GWh (STATISTIK AUSTRIA 2020).

Gemäß Szenario 2050 ist der Photovoltaik-Anlagenpark bis zum Jahr 2050 um rund 3.765 MW_p bzw. bis 2030 um rund 594 MW_p auszubauen. Unter der Annahme, dass im Jahr 2050 rund 70 % der rund 163.300 **Wohngebäude**

Tirols (AdTLR 2019) mit einer Photovoltaik-Anlage von durchschnittlich **12 kW_p** bestückt werden sowie in jeder Gemeinde Tirols **eine Freiflächenanlage** in Größenordnung der bestehenden Anlage in Assling (2.000 kW_p) errichtet wird, sind auf den 20.000 Nicht-Wohngebäuden (rund 5.300 Gebäude für öffentliche und private Dienstleistungen, rund 8.500 Hotels sowie rund 6.300 Industrie- und Lagergebäude) (AdTLR 2019) ca. 12.400 Anlagen mit im Schnitt rund **140 kW_p** zu installieren.

Für das Jahr 2030 wurde eine vergleichbare Herangehensweise zu Grunde gelegt – die Ergebnisse für die Jahre 2050 und 2030 sind Tab. 28 zu entnehmen.



Foto: HERTL (2018).

Abb. 21: Solarblume.

Tab. 28: Beispielhafte Darstellung des notwendigen Photovoltaikanlagen-Zubaus bis 2030 bzw. 2050.

	2030	2050
Wohngebäude (Aufdach-Anlagen)	24.000 Anlagen à 12 kW _p	114.000 Anlagen a 12 kW _p
Gebäude für öffentl. / priv. Dienstleistungen, Hotels, Industrie- und Lagergebäude (Aufdach-Anlagen)	2.000 Anlagen à 140 kW _p	12.400 Anlagen à 140 kW _p
Freiflächenanlagen (vergleichbar der Freiflächenanlage Assling)	12 Anlagen à 2.000 kW _p	278 Anlagen à 2.000 kW _p

Windkraftanlagen

Erzeugung heute	~ 0 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2030	83 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2050	250 GWh

Der Zielwert der Stromerzeugung aus Windkraft liegt für das Jahr 2050 bei rund 250 GWh – im Jahr 2030 sollen rund 83 GWh aus Windkraft erzeugt werden. Abgesehen von vier Kleinstanlagen existieren derzeit in Tirol keine Windkraftanlagen, weshalb zur Dimensionierung eines möglichen notwendigen Windanlagenparks in Tirol die bestehenden Anlagen des **Windparks Gries am Nufenenpass** / Schweiz herangezogen werden. Er besteht aus vier Windturbinen mit je 2,3 MW Leistung und einer Gesamthöhe von je rund 125 Metern (Abb. 22).



Foto: HERTL (2020).

Abb. 22: Windpark Gries am Nufenenpass.

Bei angenommenen 2.500 Volllaststunden und einer Turbinenleistung von 2,5 MW würden bis zum Jahr 2030 in Tirol rund 13 Windturbinen, **bis zum Jahr 2050 von rund 40 Windturbinen** benötigt.

Wasserstoffherzeugung

Erzeugung heute	~ 0 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2030	238 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2050	1.608 GWh

Der in Bau befindliche gewerbliche Elektrolyseur auf dem Gelände der Firma MPPreis in Völs (Abb. 23) soll mit einer Leistung von 3,4 MW rund 1.290 kg Wasserstoff täglich erzeugen – dies entspricht bei angenommenen 7.900 Volllastbetriebsstunden einer Energiemenge von rund 14,2 GWh/a.



Quelle: SN/MPREIS.

Abb. 23: Elektrolyseur der Firma MPPreis in Völs.

Als ökonomisch sinnvoll im Rahmen der Errichtung einer Wasserstoff-Tankstelle inklusive Vor-Ort-Produktion des

Wasserstoffs wird gemäß BERGMEISTER (2020) ein Elektrolyseur mit einer Leistung von etwa 6 MW gesehen – sowohl für den Endverbraucher als auch für den Anlagenbetreiber und den Stromerzeuger. Dieser könnte rund 2.000 kg Wasserstoff täglich erzeugen, was einer Energiemenge von rund 24,6 GWh/a entspricht.

Entsprechend der Einsatzgebiete des Wasserstoffs im Szenario 2050 könnte der Bedarf im Zieljahr beispielhaft durch **rund 32 größere Elektrolyseure** an Tankstellen à 6 MW (2030: 3 Stück) sowie **rund 60 kleinere Elektrolyseure** in der Größenordnung des MPPreis-Elektrolyseurs in Völs (3,4 MW) **für die Produktion** (2030: 11 Stück) gedeckt werden.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass Wasserstoff eher bedarfsorientiert erzeugt werden wird, weil nicht an allen Standorten jeweils dieselbe Menge benötigt wird. Die jeweiligen Leistungen der Elektrolyseure werden aus heutiger Sicht vermutlich in der Größenordnung zwischen 2 und 6 MW liegen. Produktionsstätten mit einem geringen Bedarf werden Wasserstoff eher nicht selbst herstellen, sondern im Gastank zukaufen. Sollte sich für die Industrie generell eher eine zentrale Wasserstoffproduktion abzeichnen (Verteilung per Trailer oder Pipeline – je nach Rahmenbedingungen), sind eher wenige Anlagen im größeren Maßstab zu erwarten.

Methanerzeugung

Erzeugung heute	~ 0 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2030	34 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2050	172 GWh

Die Erzeugung synthetischen Methans kann in Power to Gas-Anlagen unter Einsatz von Strom über den Energieträger Wasserstoff erfolgen. Für Tirol wird die Errichtung eher größerer Anlagen (für Tiroler Verhältnisse) angenommen, da dieser Energieträger im bestehenden Gasnetz einfach zu verteilen ist.

Eine Anlage mit einer elektrischen Leistung von 4 MW kann rund 10 GWh/a an Methan erzeugen.

Damit würde sich ein Bedarf an rund **20 derartigen Anlagen im Jahre 2050** (2030: fünf Anlagen) zur Deckung des Tiroler Bedarfs ergeben.



Quelle: MICROBENERGY-GMBH.

Abb. 24: Demonstrationsanlage Allendorf.

Biokohle-Erzeugung

Erzeugung heute	0 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2030	56 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2050	269 GWh

Die Biokohle-Erzeugung ist im Szenario 2050 zweierlei hinterlegt. Einerseits mittels Pyrolyse, andererseits mittels Holzvergasung.

Im Szenario 2050 wurde angenommen, dass rund 1/3 der benötigten Biokohle mittels Holzvergasung sowie 2/3 mittels Pyrolyse hergestellt werden. Die benötigten Mengen an Biokohle könnten im Jahr 2050 beispielhaft mit **rund 30 Holzvergaser-Anlagen** à 3,5 MW Brennstoffleistung (2030: 6 Stück) sowie **etwa 17 Pyrolyse-Anlagen** (2030: 4 Stück) à 1,5 MW Brennstoffleistung erzeugt werden.



Quelle: Quicker (2012).

Abb. 25: Pyrolyse-Anlage zur Erzeugung von Biokohle.

Fernwärmeerzeugung

Erzeugung heute	~ 900 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2030	360 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2050	460 GWh

Die Bedarfssteigerung an Fernwärme gemäß Szenario 2050 impliziert einerseits den Ausbau bzw. die Verdichtung von bestehenden Wärmenetzen, aber auch den Neubau von Wärmenetzen in geeigneten Regionen.

Der zusätzliche Bedarf an Fernwärme im Jahr 2050 könnte beispielhaft durch **etwa 15 neuen Heizkraftwerken** in der Größenordnung der Anlage in Längenfeld (etwa 22,4 MW therm. Leistung, etwa 32 GWh/a verkaufte Wärmemenge) zur Verfügung gestellt werden, wobei ein Großteil davon jedoch über den Ausbau und die Verdichtung bestehender Wärmenetze erfolgen wird.



Quelle: WWW. TIROL2050.AT.

Abb. 26: Heizkraftwerk Biowärme Längenfeld.

Umweltwärmeerzeugung

Erzeugung heute	289 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2030	740 GWh
Zusätzlicher Bedarf 2050	2.150 GWh

Wärmepumpenanlagen dienen in verschiedenen Leistungsgrößen zur Wärmeversorgung diverser Gebäudetypen oder zur Unterstützung der Wärmebereitstellung über Wärmenetze. Tab. 29 zeichnet einen möglichen Zubau an Wärmepumpen für die Jahre 2030 und 2050 auf, wobei vereinfacht angenommen wurde, dass die durchschnittliche Anlage 2.000 Volllast-Betriebsstunden aufweist und im Wohngebäudebereich eine Leistung von durchschnittlich 10 kW installiert ist. Für Hotels und Industrie-/Lagergebäude wurden Anlagen mit einer durchschnittlichen Leistung von 100 kW, bei Büros und Handel von 50 kW angenommen.

Demnach werden bis zum Jahr 2050 **rund 80.800 zusätzliche Wärmepumpen** – 76.500 im Wohngebäudebereich sowie 4.300 in Hotels, Industrie/Lagergebäude und Büros/Handel – benötigt. Bis 2030 werden rund 28.500 zusätzliche Anlagen benötigt, davon rund 27.000 im Wohngebäudebereich. Damit wären im Jahr 2050 rund 45 % aller Gebäude mittels Wärmepumpen versorgt – in 2030 rund 15 %.



Foto: WASSER TIROL (2016).

Abb. 27: Bau der Erdwärmesondenanlage Kaunertal.

Tab. 29: Beispielhafte Darstellung des notwendigen Wärmepumpenzubaus bis 2030 bzw. 2050.

Gebäudetyp	Anzahl 2018*	2030			2050		
		Insgesamt WP-versorgter Anteil	Anzahl Zubau Wärmepumpen	Zusätzlich Wärme-erzeugung [GWh]	Insgesamt WP-versorgter Anteil	Anzahl Zubau Wärmepumpen	Zusätzlich Wärme-erzeugung [GWh]
Wohngebäude	163.400	17%	27.000	540	47%	76.500	1.530
Hotels, Industrie/Lagergebäude	14.800	3%	500	100	12%	1.800	360
Geb. für Büro, Einzel- und Großhandel	5.250	20%	1.000	100	47%	2.500	250
Summe (gerundet)			28.500	740		80.800	2.150

* gemäß AdTLR (2019).

Zusammenfassung des benötigten Anlagenzubaus im Szenario 2050

Tab. 30: Beispielhafte Darstellung des benötigten Anlagenzubaus im Szenario 2050.

Energieträger	Anlagentyp/-spezifizierung	Szenario 2050	
		2030	2050
Strom	Wasserkraft (Zubau RAV)	+ 1.200 GWh	+ 2.800 GWh
Photovoltaik	Aufdach Wohngebäude (à 12 kW _p)	+ 24.000 Anlagen	+ 114.000 Anlagen
	Aufdach Dienstleistungsgebäude, Hotels, Industrie- und Lagerhallen (à 130 kW _p)	+ 2.000 Anlagen	+ 12.400 Anlagen
	Freifläche (à 2.000 kW _p)	+ 12 Anlagen	+ 278 Anlagen
Strom	Windturbine (à 2,5 MW)	+ 13 Anlagen	+ 40 Anlagen
Wasserstoff	Elektrolyseur Tankstelle (à 6 MW)	+ 3 Anlagen	+ 32 Anlagen
	Elektrolyseur „Gewerbe“ (à 3,4 MW)	+ 11 Anlagen	+ 58 Anlagen
Synthetisches Methan	P2G-Anlage (à 4 MW)	+ 5 Anlagen	+ 20 Anlagen
Biokohle	Pyrolyse (à 1,5 MW)	+ 4 Anlagen	+ 17 Anlagen
	Holzvergaser (à 1,5 MW)	+ 6 Anlagen	+ 30 Anlagen
Fernwärme	Heizkraftwerk (Größenordnung der Anlage in Längenfeld)	+ 11 Anlagen	+ 15 Anlagen
Umweltwärme	Wärmepumpe Wohngebäude (à 10 kW)	+ 27.000 Anlagen	+ 76.500 Anlagen
	Wärmepumpe sonstige Gebäude (à 50 – 100 kW)	+ 1.500 Anlagen	+ 4.300 Anlagen

11 SZENARIO 2040: ENERGIEBEDARF UND ENERGIEBEDARFSDECKUNG

11.1 Sektor Mobilität



11.1.1 Grundlegende Annahmen

Gegenüber den in Kap. 10.1 aufgeführten Annahmen ändert sich nichts Grundlegendes. Der Nutzenergiebedarf folgt auch hier der Bevölkerungsentwicklung. Laut Statistischem Jahrbuch 2016 wird im Jahr 2040 die Tiroler Bevölkerung 827.130 Personen betragen (STATISTIK AUSTRIA 2016). Das entspricht einem Wachstum gegenüber 2016 von rund 11 %. Dementsprechend wird die Nutzenergie von 2016 auf 2040 um 11 % gesteigert. Wesentlich ist die Änderung der Zeitpunkte der Technologieänderung, um die Ziele zu erreichen.

Im **Straßenverkehr** muss der Verkaufsstopp von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren früher eingeleitet werden. So nimmt beim Bestand des Leichtverkehrs für das Szenario 2040 – der zugrunde gelegten Nutzungsdauer von Kap. 10 entsprechend – die Anzahl aller fossilen Antriebe bereits ab dem Jahr 2031 gleichmäßig pro Jahr ab (Abb. 28). Analog ist dies bei Fahrzeugen des Schwerverkehrs mit der angesetzten Nutzungsdauer von sechs Jahren von 2035 bis 2040 der Fall (Abb. 29). Gegenüber dem Szenario 2050 ist bei beiden Fahrzeuggruppen eine deutlich stärkere Zunahme an erneuerbaren Antriebstechniken notwendig, da durch den früheren Start des Verkaufsstops von mit fossilen Treibstoffen betriebenen Fahrzeugen der Austausch in kürzerer Zeit erfolgen muss. Der Vergleich mit den aktuellen Zuwachsraten der Fahrzeuge mit batterieelektrischen Antrieben lässt aber auch die dafür erforderliche durchschnittliche Wachstumsrate von etwa 130 % pro Jahr plausibel erscheinen. Verknüpft mit der Fahrleistung ergibt sich die in Abb. 28 dargestellte Aufteilung nach Energieträgern.

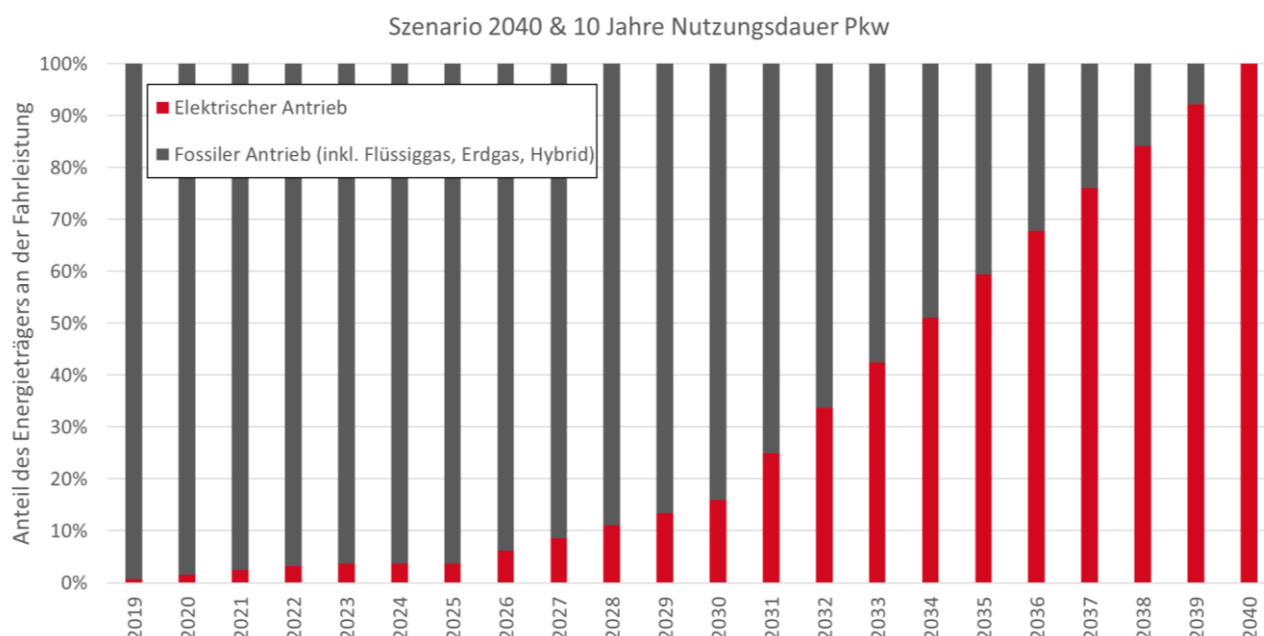


Abb. 28: Anteil der Fahrleistungen im Leichtverkehr, Szenario 2040.

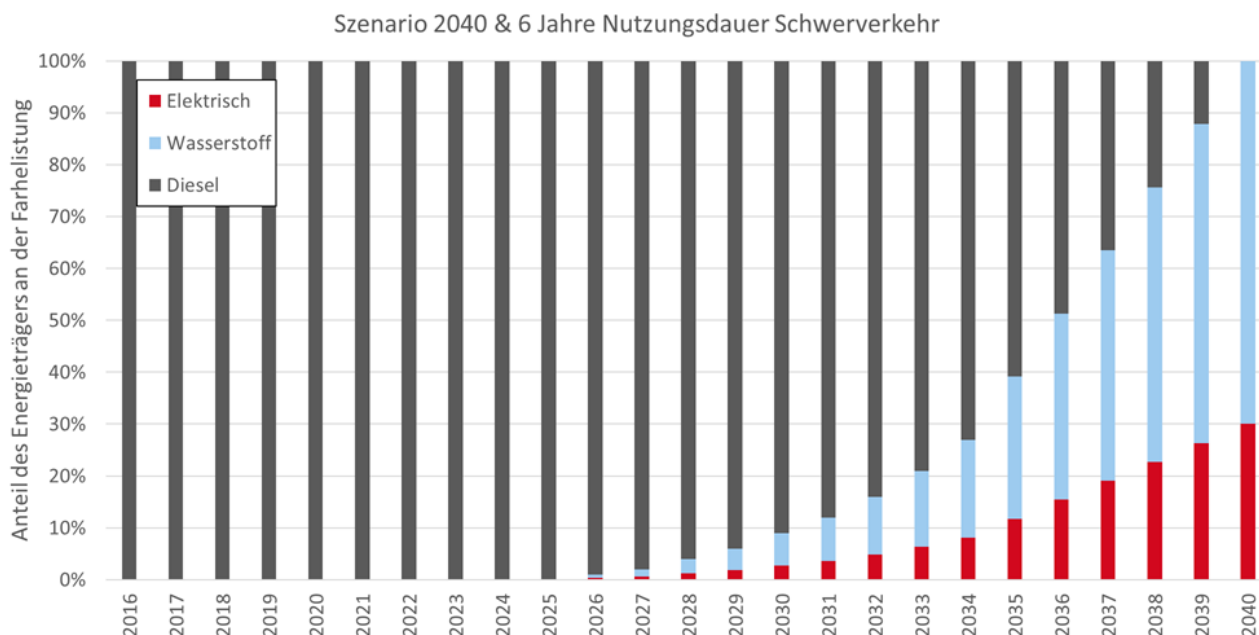


Abb. 29: Anteil der Fahrleistungen im Schwerverkehr, Szenario 2040.

Die Umrüstung der **Oldtimer** auf synthetische Kraftstoffe basierend auf erneuerbarer Energie (Power to Liquid) erfolgt sprunghaft im Jahr 2040.

Bei der **Eisenbahn** wirken sich wie im Szenario 2050 die Umstellung der Zillertalbahn auf Wasserstoff und die durch die Eröffnung des Brennerbasistunnels initiierte Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene jeweils schon vor 2040 aus. Hinsichtlich der **Rohrleitungen** wird derselbe Verlauf der Nutzenergie im Vergleich zum Szenario 2050 angenommen, sprich: nach einem anfänglichen Anstieg reduziert sich erst im Jahr 2050 die Nutzenergie gegenüber 2016 auf die Hälfte. Der Umstieg der **Binnenschifffahrt** auf batterieelektrische Antriebe erfolgt wieder in den Jahren 2028 bis 2036 und ist somit zum gleichen Zeitpunkt bereits erfolgreich umgesetzt wie beim Szenario 2050. Der Umstieg beim **Flugverkehr** auf synthetische Kraftstoffe (Power to Liquid) erfolgt diesmal schlagartig im Jahr 2040.

Auch gilt die Annahme, dass die Nutzenergie von Flugverkehr und Binnenschifffahrt zwischen den Jahren 2016 und 2040 gleich groß bleibt.

11.1.2 Nutzenergiebedarf 2016 und 2040

Für das Jahr 2016 wurde die gesamte Nutzenergie für die Mobilität mit 7.187 TJ dem „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“-Bericht entnommen. Entsprechend der Bevölkerungsentwicklung (STATISTIK AUSTRIA 2016) wird jene bis zum Jahr 2040 um knapp 11 % auf **7.873 TJ** gesteigert.

11.1.3 Eingesetzte Technologien 2040 und deren Wirkungsgrade

Hinsichtlich der eingesetzten Technologien im Jahr 2040 gelten dieselben Ziele wie für 2050. Die fossilen Energieträger werden in diesem Szenario allerdings schon im Jahr 2040 nicht mehr genutzt. Der Hauptunterschied ist daher eine **intensivere Steigerung der emissionsfreien Neuzulassungen** im Straßenverkehr, da der Umstieg in kürzerer Zeit erfolgen muss. Auch die Wirkungsgrade bleiben gegenüber dem Szenario 2050 unverändert.

11.1.4 Endenergiebedarf 2040, eingesetzte Energieträger und zeitlicher Verlauf

Der Endenergiebedarf der Mobilität im 2040 beläuft sich auf **10.478 TJ**. Im Vergleich zu Szenario 2050 verringert sich der Endenergiebedarf im Jahr 2030 im Szenario 2040 unwesentlich auf 30.669 TJ. Abb. 30 und Abb. 31 zeigen den zeitlichen Verlauf des Nutz- und Endenergiebedarfs der Mobilität nach Energieträgern. Auch in diesem Szenario machen die fossilen Energieträger im Jahr 2030 noch den bei weiten überwiegenden Teil der eingesetzten Endenergie aus.

Entwicklung der Energieträger - Nutzenergie Mobilität gesamt 2040

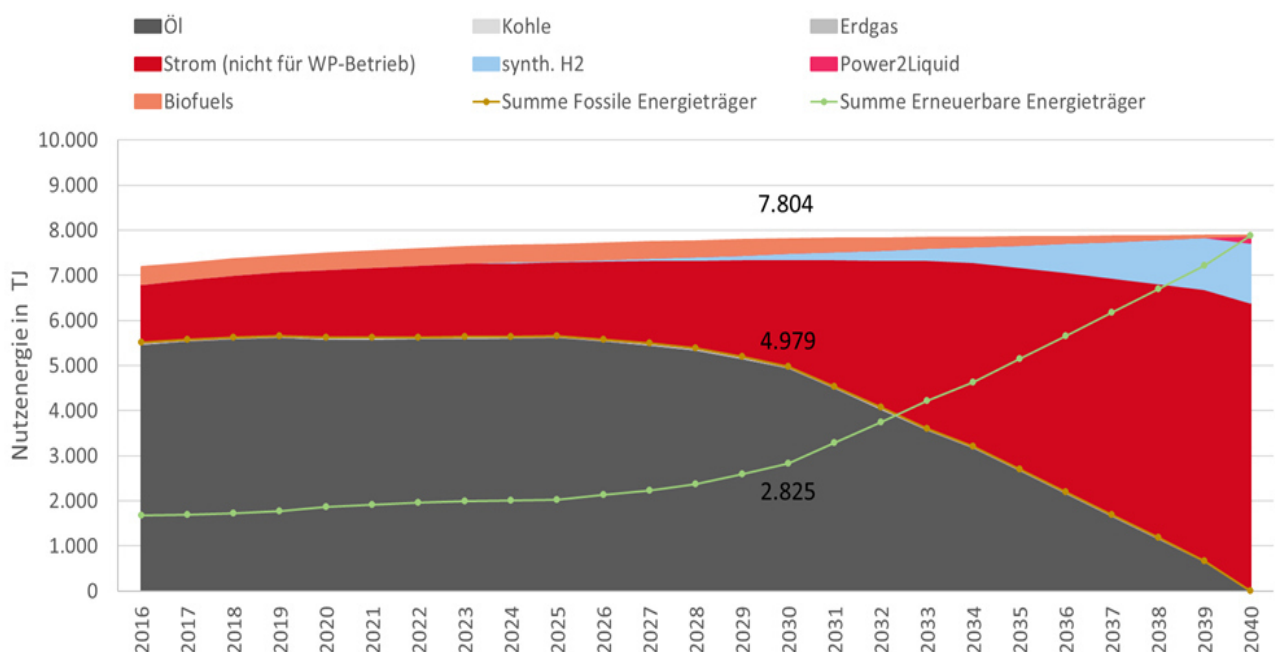


Abb. 30: Zeitlicher Verlauf der Nutzenergie Mobilität, Szenario 2040.

Entwicklung der Endenergieträger - Mobilität Endenergie gesamt 2040

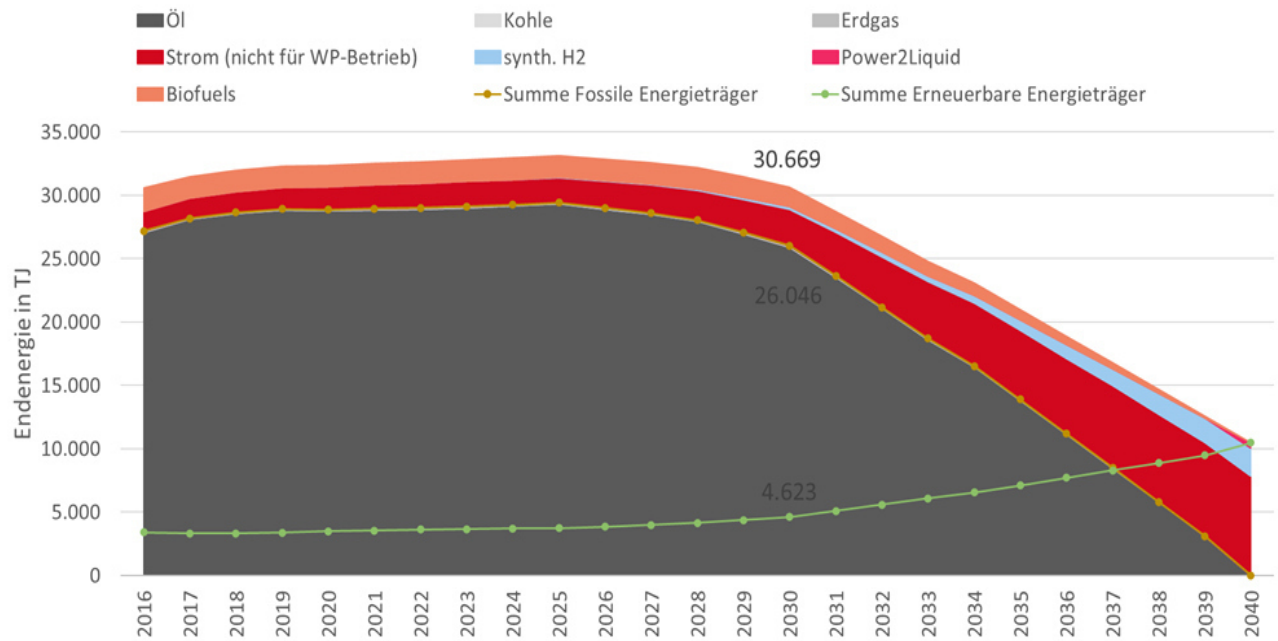


Abb. 31: Zeitlicher Verlauf der Endenergie Mobilität, Szenario 2040.

11.2 Sektor Produktion



Die Annahmen zum Sektor Produktion für das Szenario 2040 sind bis auf wenige Ausnahmen mit denen des Szenarios 2050 ident. Die Änderungen werden im Folgenden aufgeführt. Alle weiteren Annahmen sind dem Kap. 10.2 zu entnehmen.

11.2.1 Grundlegende Annahmen

Die grundlegenden Annahmen sind mit dem Szenario 2050 ident und können Kap. 10.2.1 entnommen werden.

11.2.2 Nutzenergiebedarf 2016 und 2040

Die Grundlage ist auch in diesem Szenario der Endenergiebedarf für 2016. Dieser liegt laut STATISTIK AUSTRIA (2017) für den gesamten Industriebereich (inklusive Industriegebäude) bei 20.840 TJ. Der Wert wird mit spezifischen Wirkungsgraden auf eine Nutzenergie von 12.745 TJ berechnet.

Der Nutzenergiebedarf wird linear mit einer jährlichen Steigerung von 0,8% fortgesetzt (s.a. Kap. 10.2.1). Da der Nutzenergiebedarf vom Endenergiebedarf über energieträgerspezifische Wirkungsgrade rückgerechnet wird, wird er zusätzlich durch die Substitution fossiler Energieträger beeinflusst. Die fossilen Energieträger gehen in diesem Szenario schon im Jahr 2040 gegen Null. Da vor allem Strom gegenüber fossilen Energieträgern (wie zum Beispiel Kohle oder Erdgas) einen höheren Wirkungsgrad aufweist, wird der reale Nutzenergiebedarf verringert. Somit ergibt sich ein Wert von **13.563 TJ** an Nutzenergiebedarf für das Jahr 2040.

11.2.3 Eingesetzte Technologien 2040 und deren Wirkungsgrade

Ziel ist es, die Technologien so umzustellen, dass im Jahr 2040 ein rein regenerativer Energieeinsatz vorherrscht. Auch hier wird von einem **Beginn des Austausches mit 2020** ausgegangen. Die Austauschraten werden stufenweise erhöht und alle fünf Jahre verdoppelt. Die Soll-Austauschrate beginnt 2020-2025 mit 4,85% und endet 2035-2040 mit 38,8%. Die Umstellung der Energieträger kann Kap. 10.2.3 entnommen werden.

11.2.4 Endenergiebedarf 2040, eingesetzte Energieträger und zeitlicher Verlauf

Der Endenergiebedarf für 2040 beläuft sich nach Austausch aller fossilen Energieträger und der moderat-ambitionierten Effizienzsteigerung auf **19.140 TJ**. Abb. 32 zeigt die Entwicklung der Nutz- und Endenergie mit einem Austausch aller fossilen Energieträger bis 2040. Hier werden nur die Kategorien der Industrieprozesse aufgelistet (die Industriegebäude sind nicht enthalten). Der generelle Trend zeigt, dass die Effizienzmaßnahmen zu einer höheren Energieproduktivität führen. Das heißt, dass pro Nutzenergieeinheit weniger Endenergie eingesetzt werden muss und dass insgesamt der Einsatz von Endenergie pro Produktionseinheit geringer wird.

Abb. 33 zeigt die Entwicklung der Energieträger. Hier wird der Anteil Industriegebäude aus dem Sektor Gebäude mit einberechnet. Die grüne Linie beschreibt die Summe der regenerativen, die braune die Summe der fossilen Energieträger.

Energieentwicklung Austausch bis 2040

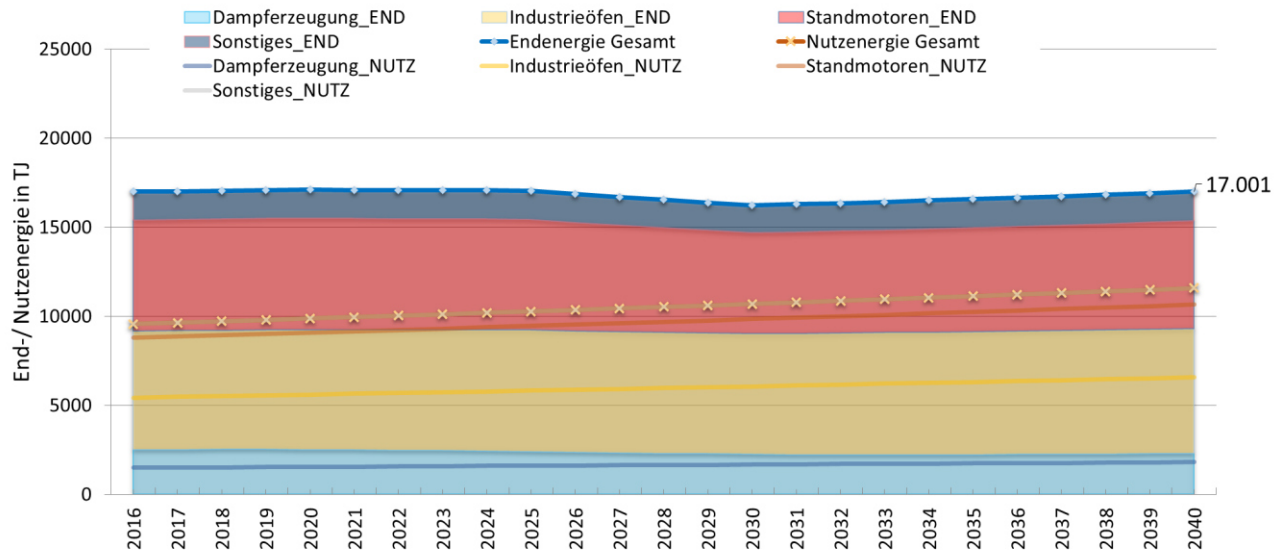


Abb. 32: Energieentwicklung der Industrieprozesse (ohne Industriegebäude) mit Austausch bis 2040.

Entwicklung der Energieträger - Endenergie gesamt 2040

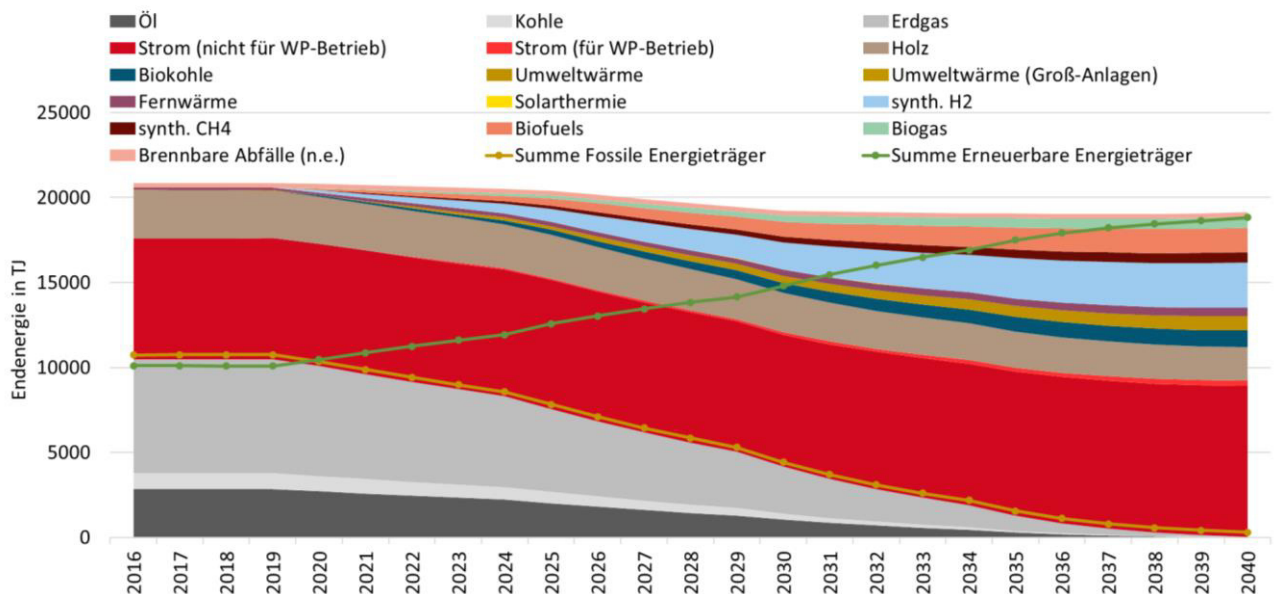


Abb. 33: Entwicklung der Energieträger von Industrieprozessen und Industriegebäuden – Endenergie bis 2040.

11.3 Sektor Sonstige / Gebäude



11.3.1 Grundlegende Annahmen

Um den Energiebedarf im Gebäudesektor bereits 2040 von der Nutzung fossiler Brennstoffe zu befreien, ist es notwendig, die in Kap. 10.3 vorgestellten Schritte **zu beschleunigen**. Daher sind **höhere umfassende Sanierungs- und Austauschraten erforderlich**.

Tab. 31 zeigt beispielhaft die Sanierungsrate für Einfamilienhäuser, während Tab. 32 die Austauschrate des Heizsystems für ganze Wohngebäude zeigt. Die für die Definition des Szenarios 2040 verwendeten Annahmen finden sich vollständig in Kap. 18.3.

Tab. 31: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode (für Szenario 2040 angenommen).

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2040
	1919	4.3%	5.5%	4.0%
1920	1944	2.7%	1.3%	0.7%
1945	1960	1.3%	5.7%	4.0%
1961	1970	1.5%	1.3%	3.3%
1971	1980	2.7%	1.3%	1.3%
1981	1990	0.7%	0.7%	1.3%
1991	2000	1.3%	0.7%	3.9%
2001	2010	0.0%	0.7%	1.3%
2011	2015	0.0%	0.0%	0.7%
2016	2020	0.0%	0.0%	0.0%
2021	2030	-	0.0%	0.0%
2031	2040	-	-	0.0%

Tab. 32: Gesamt-Austauschrate Heizsystem (inklusive äquivalenter umfassender Sanierung) nach Bauperiode.

Bauperiode	Jährliche Austauschrate des Heizsystems		
	2016-2020	2021-2030	2031-2040
bis 1919	3.3%	5.0%	3.7%
1920-1944	3.3%	3.6%	6.5%
1945-1960	3.3%	4.0%	3.7%
1961-1970	3.3%	4.0%	6.0%
1971-1980	3.3%	3.5%	8.5%
1981-1990	3.3%	3.7%	6.8%
1991-2000	3.3%	6.5%	3.8%
2001-2010	3.3%	4.9%	5.5%
2011-2015	3.3%	7.0%	15.0%
2016-2020	3.3%	10.0%	25.0%
2021-2030	-	3.3%	3.3%
2031-2040	-	-	3.3%

Eine neue Annahme wird in Bezug auf die Lebensdauer der Anlagen und Renovierungsarbeiten berücksichtigt: Der Abstand zwischen zwei Renovierungsarbeiten wird von 25 Jahren auf 15 bzw. 20 Jahre verkürzt – dies vor dem Hintergrund kürzerer Lebensdauern von neuen Heizungssystemen und sinkender Kosten der neuen Technologien dank der Anreize und des stärkeren Wettbewerbs auf dem Markt.

Die in Kap. 10.3 dargelegten Annahmen hinsichtlich der Zunahme der Bevölkerung, der Gebäudefläche und der Qualität der renovierten Gebäude werden beibehalten.

11.3.2 Nutzenergiebedarf 2016 und 2040

Die Grundlage ist wie bei den Ausführungen zum Szenario 2050 (Kap. 10.3) der Endenergiebedarf des Jahres 2016. Der **Nutzenergiebedarf** wird von 30.536 TJ auf **23.252 TJ** im Jahr 2040 und der **Endenergiebedarf** von 35.567 TJ auf **26.368 TJ** im Jahr 2040 reduziert.

Der höhere Energiebedarf im Jahr 2040 im Vergleich zum Jahr 2050 im Szenario 2050 ist auf die Entwicklungsgrenze der eingesetzten Technologien zurückzuführen: Unter der Annahme einer linearen Entwicklung des Wirkungsgrads der Anlagen über die Jahre hinweg sind die Technologien des Jahres 2050 leistungsfähiger als die von 2040. Die im Vergleich zum Szenario 2050 größere Austauschrate lässt eine vollständige Umstellung auf nicht-fossile Systeme erreichen, jedoch kann – da diese Maßnahme **nicht mit einer vollständigen Sanierung der Gebäudehülle verbunden** ist – nur eine geringere Senkung des Energiebedarfs im Gebäude-Sektor im Vergleich zum Jahr 2050 des Szenarios 2050 erzielt werden.

11.3.3 Eingesetzte Technologien 2040 und deren Wirkungsgrade

Die Annahmen bezüglich der eingesetzten Technologien, ihres Wirkungsgrades und der Energieträgerverteilung sind ident zu jenen in Kap. 10.3.

11.3.4 Endenergiebedarf 2040, eingesetzte Energieträger und zeitlicher Verlauf

Für das Szenario 2040 ergibt sich eine Reduktion des Endenergiebedarfs von **25,9%** bis 2040 auf **26.368 TJ**. Wird die am Gebäude produzierte Solarthermie und Umweltwärme ergänzend als Reduktion des Endenergiebedarfs gesehen, beträgt die Einsparung 50,3% (Abb. 34). Die höhere Sanierungsrate und Heizsysteme-Austauschrate bedeuten bis 2040 den vollständigen Ersatz der mit fossilen Energieträgern betriebenen Anlagen.

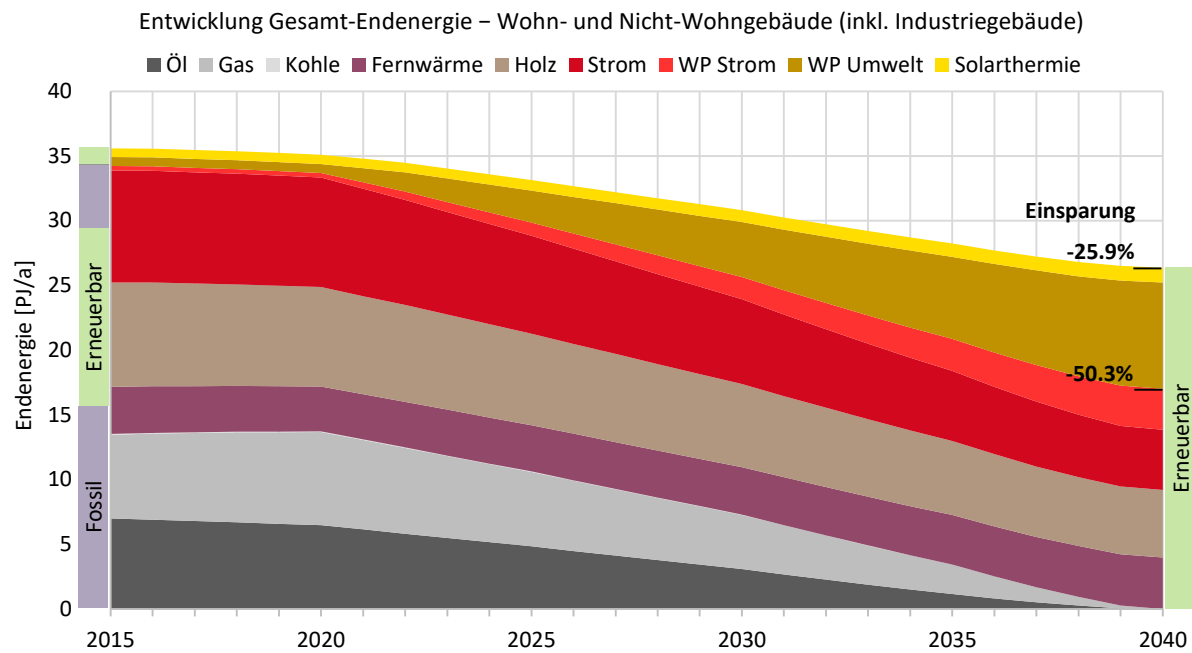


Abb. 34: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario 2040 für den Gebäudebereich (Wohn- und Nicht-Wohngebäude inklusive Landwirtschaft und exklusive Industrie).

11.4 Ergebnisse Szenario 2040

11.4.1 Nutzenergie

Die Zusammenführung der Nutzenergieergebnisse der Sektoren Mobilität, Produktion und Sonstiges / Gebäude zeigt für das Szenario 2040 insgesamt abnehmende Energiemengen trotz hinterlegter steigender Bevölkerungszahlen, eines angenommenen Wirtschaftswachstums sowie eines gegenüber heute nicht geänderten Mobilitätsverhaltens. Liegt der Nutzenergiebedarf im Jahr 2016 bei rund 50.500 TJ, so sinkt er über rund 47.900 TJ im Jahr 2030 auf **rund 44.700 TJ im Jahr 2050**, was einer **Reduktion um rund 11 %** über einen Zeitraum von 25 Jahren entspricht (Tab. 33). Aufgrund eines v.a. im Gebäudebereich höheren Energiebedarfs liegt der Nutzenergiebedarf des Szenarios 2040 im Jahr 2040 um **rund 500 TJ höher als im Zieljahr des Szenarios 2050**.

Der Anteil Erneuerbarer Energie betrug im Jahr 2016 auf Nutzenergieebene rund 54 %. Im Jahr 2030 soll er gemäß Szenario 2040 bei 71 % liegen – für das Jahr 2040 wird schließlich eine vollständige Bedarfsdeckung durch Erneuerbare Energieträger angestrebt.

Tab. 33: Zwischenziel- und Endwerte des Szenarios 2040 auf Nutzenergieebene.

Nutzenergie Szenario 2040	Absolut [TJ]			Änderung ggb. 2016	
	2016	2030	2040	2030	2040
Gesamt	50.467	47.855	44.688	-5%	-11%
Fossil	22.993	13.938	0	-39%	-100%
Erneuerbar	27.474	33.917	44.688	+23%	+63%
Strom	15.065	16.751	21.360	+11%	+42%
Holz	7.464	6.071	5.017	-19%	-33%
Fernwärme	3.355	3.641	4.075	+9%	+21%
Umweltwärme	609	4.065	7.869	+570%	+1.190%

Dem Energieträger Strom kommt die bedeutendste Rolle zu. Lag sein Anteil im Jahr 2016 auf Nutzenergieebene bei 30 %, so soll sein Anteil 2030 bereits 35 % und 2050 schließlich rund 48 % betragen. Der Anteil des Energieträgers Holz (Scheitholz, Hackschnitzel, Pellets, Holzabfälle etc.) betrug 2016 rund 15 %. Im Jahr 2050 wird sein Anteil bei gut 11 % des Nutzenergiebedarfs liegen. Der Bedarf an Fernwärme wird über den betrachteten Zeitraum absolut gesehen um rund 21 % zunehmen, der der Umweltwärme sich mehr als verzehnfachen. Im Jahr 2050 wird die Umweltwärme gemäß Szenarienberechnung rund 17 % des Nutzenergiebedarfs stellen (Tab. 33).

Abb. 35 stellt die Entwicklung des gemäß Szenarienberechnung erwarteten Nutzenergiebedarfs sowie die für die Bedarfsdeckung eingesetzten Energieträger graphisch dar. Gut ersichtlich ist der auslaufende Keil fossiler Energieträger an der Basis (in Grautönen dargestellt), der **leicht zunehmende Bedarf an Strom** sowie der **stark zunehmende Bedarf an Umweltwärme und Wasserstoff**. Verluste sind für den Energieträger Holz zu verzeichnen. Der absolute Bedarf der Fernwärme bleibt in etwa konstant, jedoch werden aufgrund zunehmend energieeffizienter werdender Gebäude zunehmend mehr Gebäude mittels Fernwärme versorgt.

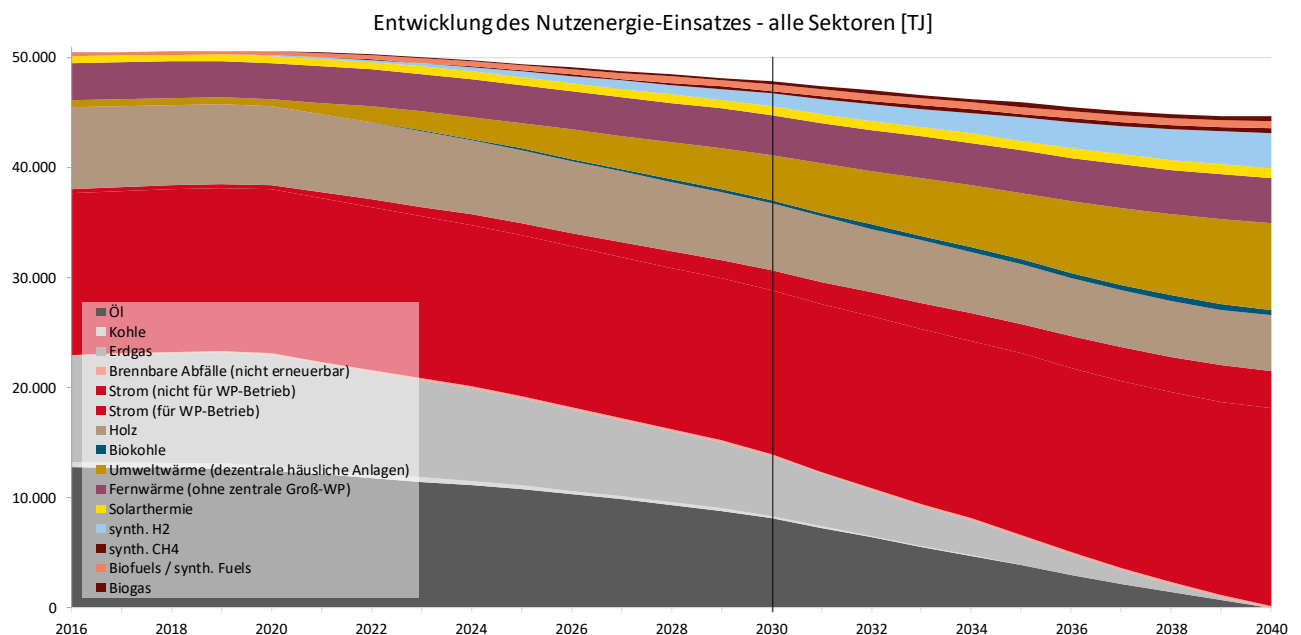


Abb. 35: Entwicklung des Nutzenergie-Einsatzes in Tirol im Szenario 2040.

11.4.2 Endenergie

Die zusammengeführten Ergebnisse der Endenergieanalysen der Sektoren Mobilität, Produktion und Sonstiges / Gebäude zeigen einen **deutlichen Rückgang der eingesetzten Energiemenge** auf Ebene der Endenergie zwischen 2016 mit rund 87.000 TJ über 2030 (rund 80.700 TJ) bis ins **Jahr 2040 mit rund 56.000 TJ** um insgesamt **rund 36%** (Tab. 34).

2016 betrug der Anteil Erneuerbarer am Endenergieeinsatz rund 41 %. Dieser Wert soll bis 2030 auf rund 53 % steigen. Um im Jahr 2040 den Endenergiebedarf durch Erneuerbare zu decken, ist der Einsatz Erneuerbarer gegenüber dem Einsatz des Jahres 2016 um rund 58 % zu erhöhen (Tab. 34).

Dem Energieträger **Strom** wird ein **deutlicher Bedeutungsgewinn** zugeschrieben. Beträgt der Anteil des Stroms am Endenergieeinsatz des Jahres 2016 noch 20 %, so steigt dieser Wert gemäß Ergebnissen der Analysen im Szenario 2040 auf **rund 44 % im Jahr 2040**. Der Strombedarf auf Endenergieebene wird dann voraussichtlich rund 6.908 GWh betragen gegenüber rund 4.900 GWh im Jahr 2016.

Der Anteil der **Umweltwärme** wird im Jahr 2040 **rund 16 % des Endenergiebedarfs** stellen – im Vergleich dazu: 2016 lag ihr Anteil bei unter 1 %. Der relative Deckungsbetrag des Energieträgers Holz bleibt über den betrachteten Zeitraum relativ konstant und liegt bei elf bis 13 Prozent des Endenergieeinsatzes. Größere Anteile an der Endenergiebedarfsdeckung weist neben dem Wasserstoff mit 9 % auch die Fernwärme mit 8 % auf (Tab. 34).

Tab. 34: Zwischenziel- und Endwerte des Szenarios 2040 auf Endenergieebene.

	2016		2030		2040		Änderung ggb. 2016	
	[TJ]*	[%]	[TJ]	[%]	[TJ]	[%]	2030	2040
Gesamt	87.009	100%	80.696	100%	55.986	100%	-18%	-36%
Fossil	51.522	59%	37.756	47%	0	0%	-27%	-100%
Erneuerbar	35.488	41%	42.940	53%	55.986	100%	+21%	+58%
Strom	17.616	20 %	19.012	24 %	24.867	44 %	+8%	+41%
Umweltwärme	705	1 %	4.683	6 %	9.068	16 %	+460%	+1090%
Holz	10.874	12 %	8.735	11 %	7.209	13 %	-20%	-34%
Fernwärme	3.723	4 %	4.016	5 %	4.483	8 %	+8%	+20%
Solarthermie	682	1 %	917	1 %	1.141	2 %	+34%	+67%
Biokohle	10	0 %	592	1 %	969	2 %		
Wasserstoff	0	0 %	1.854	2 %	4.879	9 %		
(synth.) Methan	0	0 %	727	1 %	1.198	2 %		
Synth. Fuels / P2L	1.878	2 %	2.404	3 %	1.868	3 %	+28%	-1%
Brennbare Abfälle	266	0 %	267	0 %	278	0 %	+0%	+4%
Öl	36.787	42 %	30.064	37 %	0	0 %	-18%	-100%
Kohle	992	1 %	377	0 %	0	0 %	-62%	-100%
Gas	13.477	15 %	7.048	9 %	0	0 %	-48%	-100%

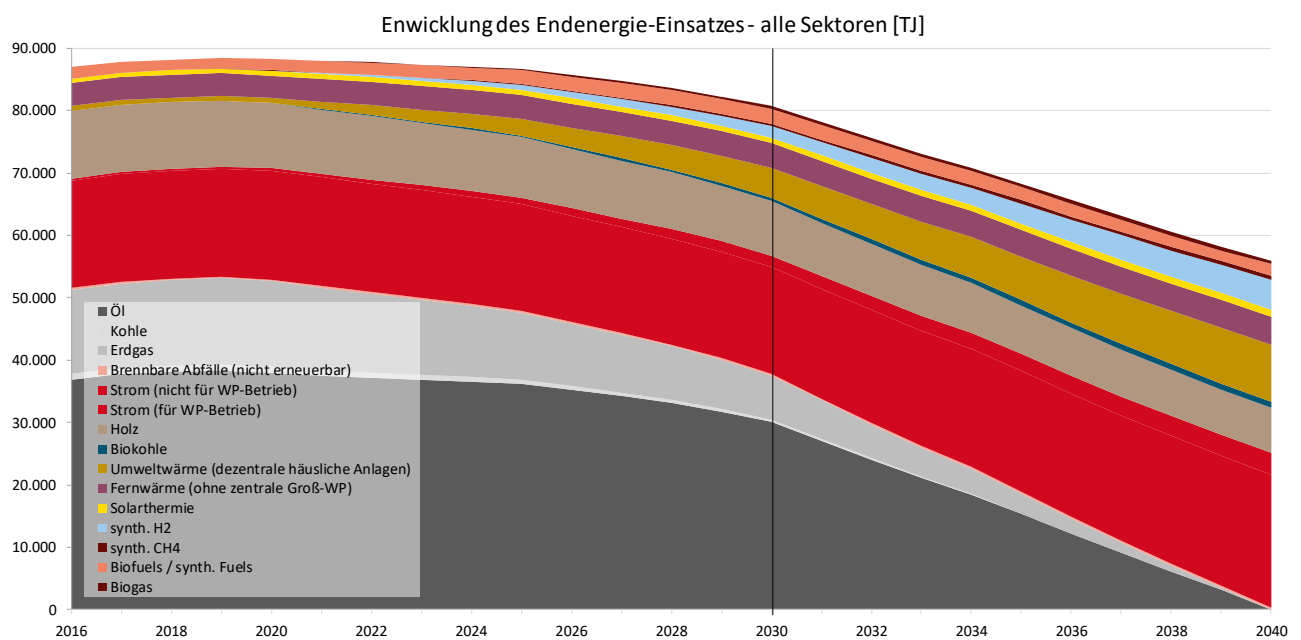


Abb. 36: Entwicklung des Endenergie-Einsatzes in Tirol im Szenario 2040.

Abb. 36 stellt die Entwicklung des gemäß Szenarienberechnung erwarteten Endenergiebedarfs sowie die für die Bedarfsdeckung eingesetzten Energieträger dar. Gut ersichtlich ist der auslaufende Keil fossiler Energieträger an der Basis (in Grautönen dargestellt), der **zunehmende Bedarf an Strom und Fernwärme** sowie der **stark zunehmende Bedarf an Umweltwärme und Wasserstoff**. Verluste sind für den Energieträger Holz zu verzeichnen.

Der insgesamt stärkere Rückgang eingesetzter Energiemengen auf Endenergieebene (zwischen 2016 und 2040 um rund 36 %) gegenüber der Nutzenergieebene (im gleichen Zeitraum um 11 %) zeigt die durch den Umbau des Energiesystems durch Substitution fossiler Energieträger und Technologiewechsel ausgelöste Effizienzsteigerung in diesem Bereich deutlich. Betrug die absoluten Verluste beim Übergang von der Endenergie- zur Nutzenergieebene im Jahr 2016 noch 36.500 TJ, so liegen sie gemäß Szenario im Jahr 2040 noch bei rund 11.300 TJ – trotz hinterlegtem Wirtschaftswachstum und steigender Bevölkerungszahlen.

11.4.3 Eingesetzte Energiemengen im Szenario 2040

Die eingesetzten Energiemengen und Energieträger des Jahres 2016 basieren auf den Daten der STATISTIK AUSTRIA (2017). Im Rahmen der gegenständlichen Studie wurden die notwendigen eingesetzten Energiemengen und -arten für das Jahr 2040 sowie das Zwischenziel 2030 ermittelt. Abb. 37 zeigt auf diesen Werten aufbauend eine grobe Verlaufskurve für den Zeitraum 2016 bis 2040. Dabei wurden die eingesetzten Mengen zwischen den Jahren 2016, 2030 und 2040 vereinfacht linear dargestellt, da ein jahresgenauer Anlagenausbau nicht belastbar prognostiziert werden kann. Die Entwicklung des Endenergie- sowie des Nutzenergiebedarfs sind ergänzend gestrichelt eingetragen und zeigen damit die auftretenden Verluste zwischen den dargestellten Energieebenen. Die Gruppe „Sonstige Biogene“ umfasst u.a. die durch die STATISTIK AUSTRIA (2017) ausgewiesenen Energieträger „Bioethanol“, „Biodiesel“, „Sonstige Biogene fest“ und „Sonstige Biogene flüssig“, die im Rahmen der Szenarienbetrachtung nicht gesondert ausgewiesen wurde. Dementsprechend läuft die Rubrik „Sonstige Biogene“ in Abb. 37 bis zum ersten berechneten Wert (Jahr 2030) aus – die für 2016 ausgewiesenen Werte gehen in den restlichen Energieträgern auf.

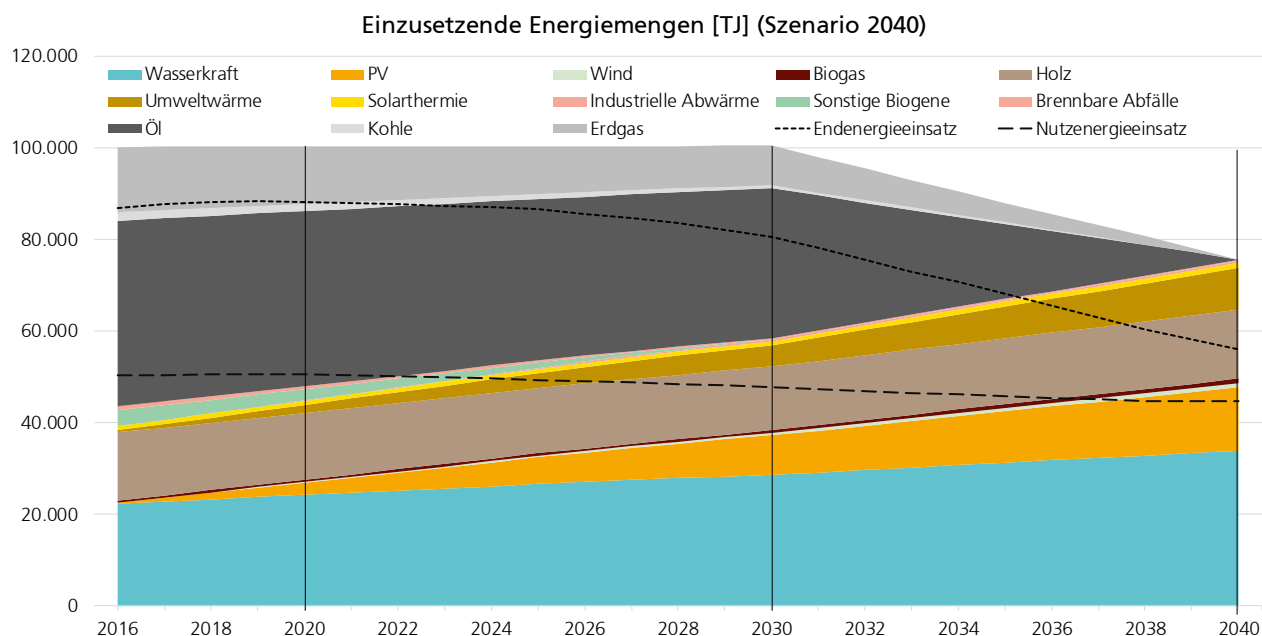


Abb. 37: Entwicklung der einzusetzenden Energiemengen im Szenario 2040.

Abb. 37 zeigt einen **generell notwendigen starken Ausbau der Nutzung aller Erneuerbarer Energieträger**. Deutlich zeigt sich er sich v.a. in den Bereichen **Wasserkraft** sowie **Photovoltaik**, um dem erkannten Bedeutungsgewinn des Stroms auf Endenergieebene gerecht zu werden. Ebenfalls markant zeigt sich der notwendige starke Ausbau der Nutzung der **Umweltwärme**, die v.a. zur Wärmebereitstellung im Sektor Gebäude benötigt wird. Tab. 35 gibt einen vertieften Überblick über die Entwicklung einzusetzender Energieträger des Szenarios 2040.

Tab. 35: Einzusetzende Energie 2016 , 2030 und 2040 des Szenarios 2040.

	2016		2030		2040		Änderung ggb. 2016	
	[TJ]	[%]	[TJ]	[%]	[TJ]	[%]	2030	2040
Gesamt	100.304	100 %	100.565	100 %	75.659	100 %	+0 %	-25 %
Fossil	57.472	57%	42.309	42%	0	0 %	-26 %	-100 %
Erneuerbar	42.832	43%	58.255	58%	75.659	100 %	+36 %	+77 %
Wasserkraft	22.411*	22 %	28.696	29 %	33.991	45 %	+28%**	+52%**
PV Dach	250	0 %	7.604	8 %	11.847	16 %	+3.000%	+4.700%
PV Freifläche	9	0 %	1.004	1 %	2.008	3 %	+11.200%	+22.300%
Wind	0	0 %	450	0 %	900	1 %		
Biogas	401	0 %	626	1 %	997	1 %	+56%	+148%
Holz	14.858	15 %	13.895	14 %	14.990	20 %	-6%	+1%
Umweltwärme	489	0 %	4.723	5 %	9.168	12 %	+870%	+1.800%
Solarthermie	891	1 %	917	1 %	1.141	2 %	+3%	+28%
Brennbare Abfälle	778	1 %	267	0 %	278	0 %	-66%	-64%
Industr. Abwärme	0	0 %	340	0 %	340	0 %		
Öl	40.613	40 %	32.732	33 %	0	0 %	-19%	-100%
Kohle	1.815	2 %	688	1 %	0	0 %	-62%	-100%
Gas	14.266	14 %	8.622	9 %	0	0 %	-40%	-100%
sonst. Biogene	3.523	4 %	-	-	-	-	-	-

* Wert 2016: tatsächliche Wasserkrafterzeugung gemäß STATISTIK AUSTRIA (2017), Werte 2030 und 2040: RAV.

** Angabe gegenüber tatsächlichem Erzeugungswert 2016. Gegenüber RAV 2011: 2030: +20%; 2040: +42%.

11.4.4 Vereinfachte Flussbilder Szenario 2040

Abb. 38 und Abb. 39 stellen die sich ergebenden Energieflussbilder des Szenarios 2040 zum Zeitpunkt 2030 (Zwischenziel) und 2040 stark vereinfacht dar.

Die Energieflüsse sind entsprechend ihrer absoluten Werte verschieden breit dargestellt und farblich nach Erneuerbar (grün) und Fossil (grau) eingefärbt. Es zeigt sich, dass die noch eingesetzten fossilen Energieträger des Jahres 2030 durch den bis 2040 zu vollziehenden Gesamtumbau des Energiesystems im Jahr 2040 vollständig ersetzt sind. Die aufgetragenen absoluten Summenwerte von einzusetzender Energie, Endenergie und Nutzenergie zeigen das zunehmend energieeffizienter werdende Energiesystem bis in das Jahr 2040. Bei nur gering gestiegenem Nutzenergiebedarf bedarf es einem deutlich geringeren Endenergieeinsatz sowie einem nochmals reduzierten Einsatz einzusetzender Energie.

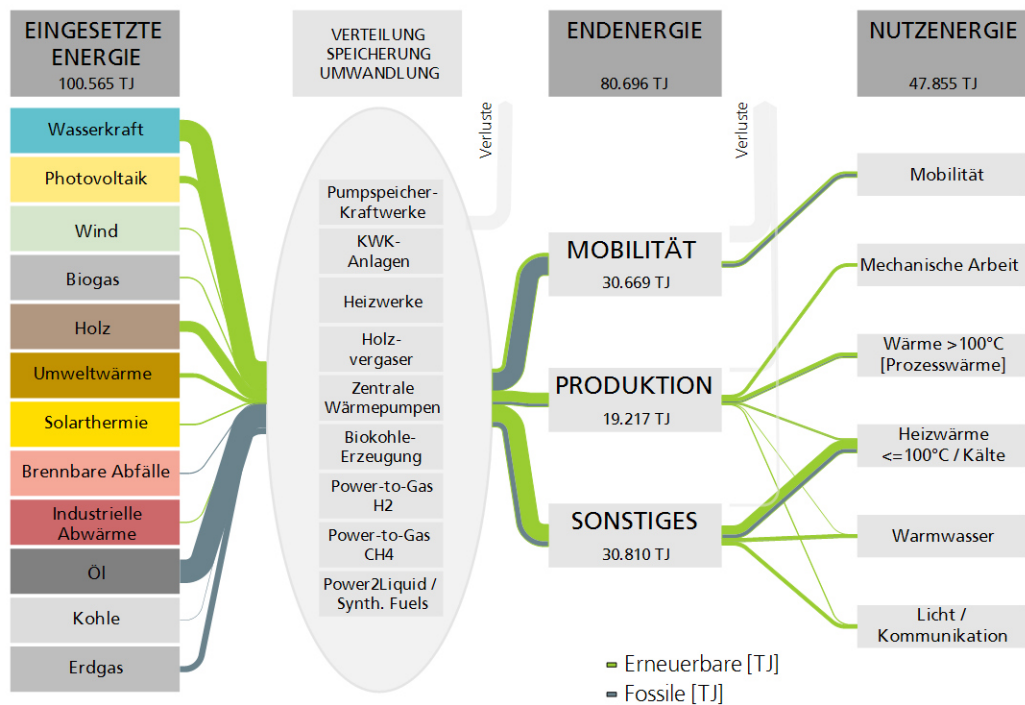


Abb. 38: Vereinfachte Darstellung des Energieflussbildes des Szenarios 2040 im Jahr 2030 (Zwischenziel).

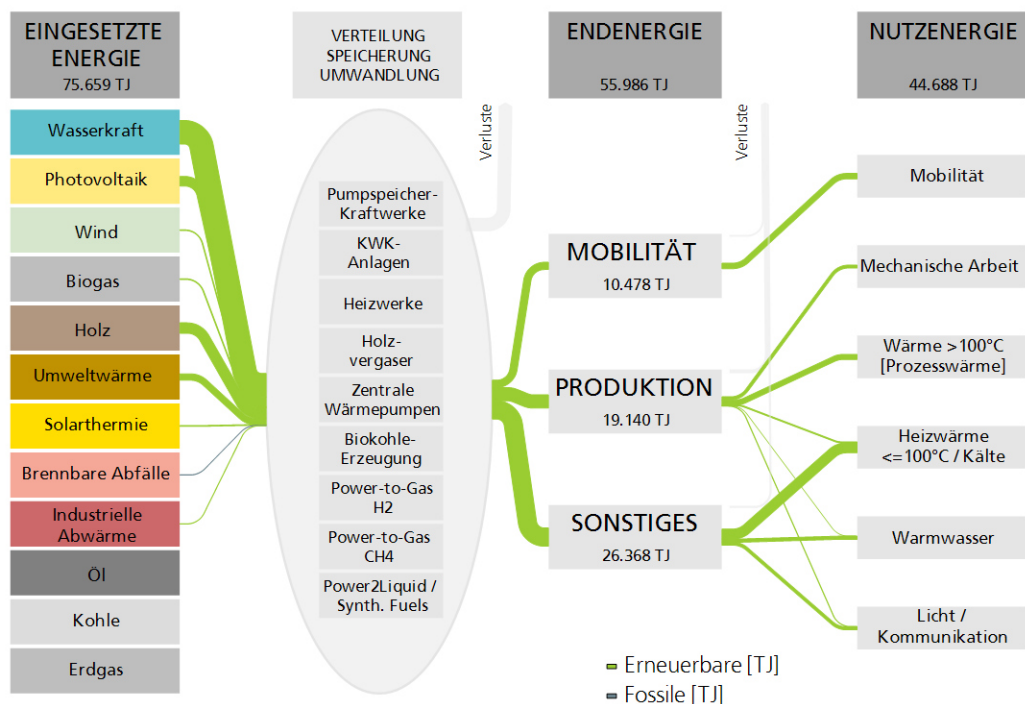


Abb. 39: Vereinfachte Darstellung des Energieflussbildes des Szenarios 2040 im Jahr 2040.

11.4.5 Möglicher benötigter Anlagenausbau im Szenario 2040

Zur methodischen Herangehensweise sei auf Kap. 10.4.5 verwiesen. Es ergibt sich folgender möglicher notwendiger Anlagenzubau gemäß Tab. 36.

Tab. 36: Möglicher benötigter Anlagenausbau im Szenario 2040.

Energieträger	Anlagentyp/-spezifizierung	Szenario 2040	
		2030	2040
Strom	Wasserkraft (Zubau RAV)	+ 1.200 GWh	+ 2.800 GWh
Photovoltaik	Aufdach Wohngebäude (à 12 kW _p)	+ 71.500 Anlagen	+ 114.000 Anlagen
	Aufdach Dienstleistungsgebäude, Hotels, Industrie- und Lagerhallen (à 130 kW _p)	+ 8.200 Anlagen	+ 12.200 Anlagen
	Freifläche (à 2.000 kW _p)	+ 115 Anlagen	+ 278 Anlagen
Strom	Windturbine (à 2,5 MW)	+ 20 Anlagen	+ 40 Anlagen
Wasserstoff	Elektrolyseur Tankstelle (à 6 MW)	+ 3 Anlagen	+ 28 Anlagen
	Elektrolyseur „Gewerbe“ (à 3,4 MW)	+ 35 Anlagen	+ 58 Anlagen
Synthetisches Methan	P2G-Anlage (à 4 MW)	+ 10 Anlagen	+ 20 Anlagen
Biokohle	Pyrolyse (à 1,5 MW)	+ 10 Anlagen	+ 17 Anlagen
	Holzvergaser (à 1,5 MW)	+ 18 Anlagen	+ 30 Anlagen
Fernwärme	Heizkraftwerk (Größenordnung Anlage Längenfeld)	+ 13 Anlagen	+ 18 Anlagen
Umweltwärme	Wärmepumpe Wohngebäude (à 10 kW)	+ 37.000 Anlagen	+ 80.000 Anlagen
	Wärmepumpe sonstige Gebäude (à 50 – 100 kW)	+ 2.100 Anlagen	+ 4.500 Anlagen

12 KERNAUSSAGEN

12.1 Sektor Gebäude / Sonstiges

- Ab 2023 **Neubauten** möglichst nur noch in **Passivhaus-Qualität**
- Ab sofort **nur noch hochwertige Sanierungen** (z.B. Reduktion des spezifischen Wärmebedarfs bei Einfamilienhäusern ab 2023 durch Sanierung auf 32 kWh/(m²•a))
- Konsequentes und forciertes **Ausschleifen von Öl und Gas** (s. z.B. Regierungsprogramm des Bundes)
- Die vielversprechendsten **Technologien** zur Erreichung der vollständigen Deckung des Energiebedarfs durch Erneuerbare sind in Bestandsgebäuden v.a. bestehende **Biomasseheizungssysteme** (v.a. Holz, Hackschnitzel und Pellets), **Nah- und Fernwärme** sowie **Wärmepumpen**; bei Neubauten v.a. **Wärmepumpen** – zunehmend unterstützt durch Photovoltaikanlagen – sowie **Nah- und Fernwärme**.
- Es ist zur Zielerreichung erforderlich, **Maßnahmen ab sofort umzusetzen**. Es zeigt sich, dass selbst bei unmittelbarem Beginn der Sanierungsmaßnahmen die Sanierungsraten im **Szenario 2040** derart hoch sein müssten, dass diese **nicht mehr als realistisch einzustufen** sind. Dementsprechend wurde für das Szenario 2040 zwar die vollständige Umstellung auf Erneuerbare hinterlegt, jedoch bei nicht vollständig umfassender Sanierung des Gebäudebestands. Daraus ergibt sich im Szenario 2040 ein höherer Energiebedarf als im Szenario 2050.
- Der **Gesamtstrombedarf** des Sektors Gebäude / Sonstiges ändert sich bis 2050 nicht signifikant. Der Strommehrbedarf für den Antrieb von Wärmepumpen wird durch effizienteren Stromeinsatz im Gebäude in etwa ausgeglichen.
- Wesentlich mehr Gebäudefläche wird bis 2050 mittels **Nah- und Fernwärme** beheizt. Der Energieabsatz von Nah- und Fernwärme bleibt jedoch aufgrund der durchgeführten umfassenden Gebäudesanierungen in etwa konstant.

Zwischenziele 2030:

- Der **Einsatz fossiler Energieträger** im Sektor Gebäude/Sonstige ist **um 35 % gegenüber 2016 reduziert** – einerseits aufgrund des **Ersatzes** fossil betriebener Anlagen durch Anlagen auf Basis Erneuerbarer, andererseits durch erfolgte **umfassende Sanierungen** im Gebäudebestand.
- **9 % aller Gebäude** (Wohn- und Nicht-Wohngebäude) sind an **Wärmenetze** (Nah- und Fernwärme) angeschlossen.
- **25 % aller Gebäude** (Wohn- und Nicht-Wohngebäude) werden über **Wärmepumpen-Systeme** (Erdwärme, Grundwasser und Luftwärme) mit Wärme versorgt.

12.2 Sektor Produktion

- Es wird nicht von wesentlichen Änderungen in der **Industriestruktur** ausgegangen – auch die **Anzahl energieintensiver Betriebe** wird sich nicht wesentlich ändern. Als **wirtschaftliche Entwicklungsprognose** wurde eine nominale Steigerung von 1,5% pro Jahr angenommen.
- Eine **wesentliche Verringerung des Endenergiebedarfs** kann **nur durch Technologiesprünge** erreicht werden. Da die gesamte Produktionsbranche einem gewissen Druck zur Senkung des Energiebedarfs bzw. des CO₂-Ausstoßes unterliegt, ist in den kommenden Jahren mit derartigen Technologiesprüngen zu rechnen. Diese können aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht zuverlässig prognostiziert werden. Es ist notwendig, den Umbau des Energiesystems marktwirtschaftlich verträglich zu gestalten.
- Da die meisten berücksichtigten Technologien **bereits heute verfügbar und sehr ausgereift** sind, ist ein **sofortiger Beginn der Umstellung** der eingesetzten Technologien möglich und notwendig.
- Trotz massiver Einsparungen durch Effizienzmaßnahmen kommt es durch das angenommene Wirtschaftswachstum sowie maximal erreichbarer Systemwirkungsgrade insgesamt zu einem leichten Anstieg des Endenergiebedarfs in 2050.
- Bei der Substitution fossiler Energieträger wird im Sektor Produktion **elektrische Energie der wichtigste Energieträger** sein. Bereits jetzt könnte die überwiegende Mehrzahl der industriellen Prozesse mit Strom betrieben werden, oft ist die Entscheidung, Erdgas als Energieträger zu verwenden, eine **rein ökonomische Entscheidung**.
- Einige wenige Prozesse, die zwingend einen stofflichen Energieträger benötigen (z.B. weil eine Flamme benötigt wird oder der Wärmeeintrag langsam über einen festen Energieträger erfolgen muss) müssen **auch in Zukunft mit einer gasförmigen oder festen Energiequelle** versorgt werden. Hierfür können **Wasserstoff** oder **synthetisches Erdgas** als Substitutionsgas und modifizierte **Biokohle** als fester Energieträger dienen. Bei allen stofflichen Energieträgern muss aber bedacht werden, dass für deren Herstellung hohe Energiemengen benötigt werden. Deren Einsatz muss daher auf technologisch notwendige Bereiche eingeschränkt werden.
- **Größter Hemmfaktor** für die Umstellung der Technologien ist nach Ansicht vieler Tiroler Unternehmer derzeit der große **Unterschied zwischen den Strompreisen** und den im Vergleich günstigen **fossilen Brennstoffen**.
- Befragungen diverser Tiroler Leitbetriebe ergaben, dass die Unternehmer des produktiven Sektors vor allem auch **verlässliche Vorgaben zur längerfristigen Planung** benötigen.

Zwischenziele 2030:

Die Zwischenziele sind v.a. abhängig von der Kostenstruktur für Energieträger sowie der übergeordneten Infrastruktur. Bei den zugrunde gelegten Annahmen (Kap. 10.2) ergeben sich folgende Zwischenziele:

- **Rund 20 % der Dampfkessel** wird **elektrisch** betrieben.
- Bei **Industrieöfen** sind **20 %** der 2016 eingesetzten Kohlenmenge durch **Biokohle** sowie **25 bis 30 %** des 2016 eingesetzten Erdöls und Erdgases durch **Wasserstoff und synthetisches Methan** ersetzt.
- Annähernd **25 % der gegenwärtig dieselbetriebenen Standmotoren** sind auf **Biodiesel** umgestellt.
- **Sonstige gegenwärtig fossil betriebene Aggregate** sind zu **20 bis 25 % auf Erneuerbare** umgestellt.

12.3 Sektor Mobilität

- **Weitestgehende Elektrifizierung des Mobilitätsbereichs**, in dem **Pkw gänzlich elektrisch** betrieben werden und der **Schwerverkehr** (Lkw und Busse) möglichst weitreichend auf elektrischen Antrieb umgestellt wird. Es wird angenommen, dass die Fahrleistung des Schwerverkehrs in etwa zu **70% mittels Brennstoffzelle (Wasserstoff)** sowie **30% elektrisch** erbracht wird.
- Im zeitlichen Verlauf wird die forcierte Etablierung der **Elektrofahrzeugtechnik auf dem Pkw-Markt** durch die Preisparität zwischen batterieelektrischen und mit Verbrennungsmotoren betriebenen Fahrzeugen hinsichtlich des Anschaffungspreises angenommen, die für 2026 vorausgesagt wird. Ferner wird angenommen, dass im Bereich des **Schwerverkehrs** die Antriebstechnologien **Brennstoffzelle und Batterie** erst **ab dem Jahr 2025 über Pilotprojekte hinausgehend Verbreitung finden** werden.
- Die Umstellung der Technologien erfordert verschiedene Maßnahmen, die im Szenario 2040, in dem die Umstellung schwerer zu erreichen sein wird, noch stärker, früher, entschlossener sein müssen.
- Aus heutiger Sicht wird die Umstellung auf alternative Energieträger (**Power2liquid**) für den **Flugverkehr** aufgrund der hohen Herstellungskosten erst gegen Ende der Szenarienlaufzeiten erfolgen. Das gleiche gilt für **Oldtimer**.
- Die **Eisenbahn** ist bereits jetzt – mit Ausnahme der Zillertalbahn (Wasserstoff geplant) – zu 100% elektrifiziert. Die voraussichtliche Inbetriebnahme des **Brenner-Basis-Tunnels** im Jahr 2029 erhöht die Gütertransportkapazität auf der Schiene in der Brenner-Achse. Es wird davon ausgegangen, dass damit die angestrebte Verringerung des **Lkw-Verkehrs** auf **1 Mio. Brenner-Querungen** jährlich verwirklicht werden.
- Maßnahmen zur Unterstützung der Technologieänderung im Mobilitätssektor sind vor allem aufgrund der **Entwicklungs-, Produktions- und Verweilzeiten von Fahrzeugen** im System, die in Summe bis zu 30 Jahren umfassen, umgehend notwendig.
- Um zusätzlich zu den technologiebedingten Einsparungen den Energiebedarf im Mobilitätssektor weiter zu verringern, ist ein **forcierter Ausbau des Öffentlichen Verkehrs**, sowie eine Förderung des **Fußgänger- und Fahrradverkehrs** durch Verbesserung des Angebots bzw. der Infrastruktur in Kombination mit unterstützenden Maßnahmen (inkl. verkehrssparender Raumplanung und Siedlungsentwicklung) erforderlich.

Zwischenziele 2030:

- Der **Anteil Erneuerbarer Energieträger** im Sektor Mobilität beträgt **rund 15 %**. Davon sollen rund 62 % auf Strom, 33 % auf Biofuels und 5 % bzw. rund 230 TJ auf Wasserstoff entfallen.
- Der **Anteil elektrisch betriebener Pkw** in der Bestandsflotte beträgt **rund 20 %**.
- **Knapp 10 % der Fahrleistung von Nutzfahrzeugen** entfällt auf **elektrische Antriebe** (Batterie oder Wasserstoff).
- Eine Verlagerung des Güterverkehrs auf die Bahn ist mit **Inbetriebnahme des Brennerbasistunnels** erfolgt bzw. steht kurz bevor.
- Die **Zillertalbahn** ist **elektrifiziert**.

12.4 Ressourcennutzung

Zur zukünftigen Energiebedarfsdeckung durch heimische Energieträger werden **alle Ressourcen** ihren Beitrag leisten müssen. Es erscheint nicht möglich, die zukünftige Energiebedarfsdeckung nur auf wenige Energieträger zu verteilen – es sind **alle nutzbaren Energieressourcen nahezu vollständig und optimal** in die Energiebedarfsdeckung zu integrieren.

- Der **Photovoltaik** kommt ebenfalls eine besondere Bedeutung zu. Um den zukünftigen Strombedarf zu decken, sind mittels Photovoltaik rund 3.900 GWh Strom pro Jahr zu erzeugen. Dies bedeutet eine rund **Vervierzigfachung des derzeitigen Modulflächenbestands**. Um dies zu erreichen, sind **rund 75% aller günstig nutzbaren Dachflächen** mit Modulen zu belegen sowie darüber hinaus **Freiflächenanlagen** im Ausmaß von durchschnittlich rund 13.500 m² Modulfläche je Gemeinde zu installieren.
- Die **Wasserkraft** spielt traditionell in Tirol eine bedeutende Rolle. Derzeit werden jährlich (RAV) rund 6.800 GWh Strom aus Wasserkraft erzeugt. Aufgrund des effizienzbedingt starken Bedeutungszuwachses des Energieträgers Strom in den nächsten Jahren und Jahrzehnten ist die Wasserkraft **weiter und forciert auszubauen**. Durch die Nutzung von weiteren Gewässerstrecken soll gemäß Wasserkraft-Deklaration des Landes Tirol das Regelarbeitsvermögen bis 2036 um bis zu 2.800 GWh gegenüber dem Stand des Jahres 2011 erhöht werden. Zusätzlich ist die Kompensation von Erzeugungs-Einbußen infolge der Ökologisierung der bestehenden Kraftwerke notwendig, um die erforderliche Jahreserzeugung von rund 9.400 GWh zu erreichen.
- Die Wärmebereitstellung in neuen Gebäuden wird zukünftig v.a. auch durch die Nutzung von **Umweltwärme** erfolgen. Grundwasser, Erdwärme und Luft stehen hierzu in Tirol in nahezu unbegrenzter Ergiebigkeit zur Verfügung. Für den Betrieb der Anlagen ist wiederum Strom notwendig. Haupteinsatzgebiet für Wärmepumpen wird der Wohnbau mit dezentralen Wärmepumpenanlagen sein, jedoch werden auf einige zentrale Großwärmepumpen betrieben werden.
- Der Einsatz von **Holz** im Energiesystem wird auch zukünftig bedeutend sein. Neben dem **Energieholz sowie Sägenebenprodukten aus Tiroler Wäldern** wird gegenwärtig in etwa **gleich viel importiertes Holz als Sägenebenprodukt** aus der stark entwickelten Tiroler Holzindustrie energetisch eingesetzt. Im Zuge der umfassenden Sanierungen im Gebäudebereich in den kommenden Jahren und der damit zusammenhängenden Reduktion des Wärmebedarfs sowie dem Aus- und Neubau von Wärmenetzen wird der Einsatz von Holz im Gebäudebereich etwas zurückgehen. Jedoch ist davon ausgegangen, dass in jenen Einzelhäusern, die bereits heute mit Holz heizen, auch zukünftig mit Holz geheizt werden wird. Andererseits wird der Einsatz von Holz in Heizwerken und KWK-Anlagen deutlich zunehmen, sodass es zu einer **Verschiebung des Einsatzbereichs der Ressource Holz** kommen wird.
- Die Erzeugung von **Biogas** ist in Tirol nur eingeschränkt möglich. Dies liegt zum einen an der Kleinstrukturiertheit der Tiroler Höfe (unrentable Nutzung des Wirtschaftsdüngers), zum anderen daran, dass biogene Abfälle überwiegend kompostiert werden und Klärgas in den Kläranlagen überwiegend bereits heute dort genutzt wird. Mit einem nutzbaren Potenzial von rund 400 GWh/a wird „grünes“ Gas das fossile Erdgas (durchschnittlicher **Bedarf der vergangenen fünf Jahre rund 3.800 GWh/a**) nur in kleinem Ausmaß ersetzen können. Der weit überwiegende Einsatz von „grünem“ Gas ist für die Produktion vorgesehen, vor allem dort, wo es bei Prozessen offene Flammen benötigt.

Zwischenziele 2030:

- Mittels **Photovoltaik**-Modulen werden **rund 600 GWh** mehr an Strom erzeugt als heute.
Dies könnte beispielsweise durch die zusätzliche Errichtung von **zwölf weiteren Freiflächenanlagen** in der Größenordnung der Anlage in Assling plus **rund 24.000 Anlagen auf Dachflächen von Wohngebäuden** mit durchschnittlich 12 kWp sowie **rund 2.0**
- **00 Anlagen à 140 kWp** auf Hallen, Hotels und sonstigen größeren Dachflächen erfolgen.
- **Wasserkraftausbau** entsprechend der Wasserkraftausbauziele des Landes und gemäß der von den Betreibern beabsichtigten Inbetriebnahmen von Anlagen im Gesamtumfang von **rund 1.600 GWh Regelarbeitsvermögen**, wovon bis dato rund 200 GWh umgesetzt wurden.
Als „big points“ seien an dieser Stelle insbesondere die in Bau befindlichen Kraftwerke Tumpen-Habichen (vorauss. Inbetriebnahme 2022), das Gemeinschaftskraftwerk Inn (GKI, 2023) und SKW Kühtai 2 (2026) sowie die projektierten Kraftwerke Sellrain und Tauernbach – Gruben genannt. Ergänzend zu diesen wird ein Regelarbeitsvermögen von rund 500 GWh aus weiteren mittleren und kleineren Kraftwerken benötigt.
- **740 GWh** Energie werden zusätzlich gegenüber ‚heute‘ aus **Umweltwärme** genutzt.
Dies könnte durch **rund 28.500 Wärmepumpenanlagen** erfolgen. 27.000 Anlagen in Wohngebäuden, 500 in Hotels sowie 1.000 in Büro- und Dienstleistungsgebäuden.
- **Erste Windkraftanlagen** sind in Tirol in Betrieb und erzeugen **rund 80 GWh Strom** im Jahr.
Dies könnte zum Beispiel durch **13 Turbinen** à 2,5 MW Leistung erfolgen.
- Die Erzeugung von **Biogas** im Wesentlichen aus Biogenen Abfällen, Wirtschaftsdünger und Klärgas wird gegenüber ‚heute **um rund 10%** auf rund 120 GWh/a **gesteigert**.
- **Gut 3.500 GWh** an energetisch einzusetzendem **Holz** werden benötigt.

12.5 Energiesystem 2050 gesamt

- Die **Erreichung der Energieziele** 2050 im Jahressaldo ist aus heutiger Sicht **darstellbar**
- Im Szenario wurden **derzeitige Nutzerverhalten** und **ausgereifte, vorhandene Technologien** hinterlegt
- Die Erhebungen basieren auf einer dynamischen **Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung**
- Für die Zielerreichung müssen in jedem Sektor die Maßnahmen **mit größter Anstrengung ab sofort verfolgt** werden
- Der **Endenergiebedarf** kann gemäß Szenario 2050 **um 37%** gegenüber 2016 gesenkt werden – bis 2030 um 6 %.
- Eine möglichst **weitgehende Umstellung** aller Prozesse auf **Strom** ist anzustreben (Effizienz). Dementsprechend wird die Bedeutung von Strom am Endenergieeinsatz von heute rund 20 % auf rund 45 % steigen (2030: 24 %).
- Für die **Strombereitstellung** ist vor allem ein forcierter Wasserkraftausbau sowie ein starker Ausbau von Photovoltaik-Modulen (Dachflächen- und Freiflächenanlagen) notwendig. Insgesamt steigt der **Strombedarf auf Ebene der Primärenergie** von rund 6.650 GWh in 2016 **auf rund 13.800 GWh im Jahr 2050** (jeweils ohne Strom-Import) an, was nahezu einer **Verdoppelung des Bedarfs** entspricht. Im Jahr 2030 wird der Strombedarf bei rund 8.900 GWh liegen. Kommt es in einem Ressourcenbereich zu einem verminderten Ausbau an Stromerzeugungsanlagen, ist in einem anderen Bereich ein entsprechender Mehrertrag sicherzustellen.
- **Synthetische Gase** wie H₂, CH₄ und Synthetische Fuels spielen trotz des hohen Energiebedarfs in der Erzeugung im zukünftigen Energiesystem dort eine wesentliche Rolle, wo die direkte Stromnutzung an ihre Grenzen stößt, zum Beispiel im Schwer- und Flugverkehr sowie in der Produktion. Entsprechend sind in den nächsten Jahren zur Erzeugung der Gase im Land Tirol **entsprechende Infrastrukturen mit Elektrolyseuren und Anlagen zur Erzeugung synthetischen Methans aufzubauen**. Aufgrund des hohen Energieeinsatzes bei der Erzeugung synthetischen Methans jedoch sollte bei Prozessen, die eine Flamme benötigen, allerdings bevorzugt Biogas als Brennstoff eingesetzt werden.
- Im Anlagenbestand von Kraftwerken über Kraftwärmekopplungsanlagen und Heizwerken wird es **technologische Verschiebungen** aufgrund der Effizienz **hin zu Heizwerken und KWK-Anlagen** inklusive **Holzvergasanlagen** geben – in letzteren wird neben Strom und Wärme auch Biokohle als wichtiger Energieträger erzeugt.

12.6 Vergleich der Szenarien 2040 und 2050

- Der **Endenergiebedarf sinkt** im Szenario 2040 weniger stark **um 36%**.
- Die notwendige Substitution fossiler Energieträger durch Erneuerbare hat im **Szenario 2040** zeitlich **wesentlich ambitionierter** zu erfolgen.
- Eine vollständige **Umstellung des Kfz-Fuhrparks** erscheint im Szenario 2040 aufgrund der langen Pkw-Zyklus-Zeiten von rund 30 Jahren von der Entwicklung bis hin zur Fahrzeugstillegung **sehr schwer zu erreichen**. Bereits **im Jahr 2030** müsste zur Zielerreichung die **Neuzulassungsrate von Elektro-Fahrzeugen 100 %** betragen sowie **im Jahr 2025** eine ebensolche in Höhe **von über 70 %**.
- Eine **vollständige Gebäudesanierung** erscheint im Szenario 2040 aufgrund des verbleibenden Zeitraums von lediglich 20 Jahren **nicht realistisch**.
- Der Gesamt-**Endenergiebedarf** liegt mit rund 400 GWh im Szenario 2040 **etwas höher** als im Szenario 2050. Dadurch ist ein **höherer Einsatz von Erneuerbaren** und ein **verstärkter Ausbau von Erneuerbaren-Erzeugungsanlagen** notwendig.

13 ÜBERGEORDNETE ZIELSETZUNGEN / EMPFEHLUNGEN

13.1 EU-Ziele

Mit dem vorliegenden Ziel-Szenario „Unser Weg nach Tirol 2050“ werden die EU-Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80-95 % gegen-über 1990 und somit einer nahezu vollständigen Deckung des Endenergiebedarfs durch Erneuerbare Energieträger erreicht.

13.2 Bund

Die Bundesziele lauten:

- Klimaneutralität bis 2040
- Stromautonomie bis 2030 – Deckung des Strombedarfs zu 100 % aus Erneuerbaren
- Erhöhung des Anteils Erneuerbarer am Brutto-Endenergieeinsatz bis 2030 auf 45 bis 50 %
- Reduktion der Treibhausgasemissionen (nonETS) bis 2030 um 36 % gegen-über 2005

Während die Tiroler Landesregierung die möglichste Energieautonomie ab dem Jahr 2050 als energiepolitisches Ziel verfolgt, wurde seitens der Bundesregierung mit Veröffentlichung des Regierungsprogramms die Erreichung einer **Klimaneutralität bis spätestens 2040** als Ziel veröffentlicht, wobei ausschließlich auf Erneuerbare Energieträger gesetzt werden soll (ÖVP & DIE GRÜNEN 2020).

Auch wenn eine **genaue Definition des Begriffs „Klimaneutralität“ nicht angeführt** ist, scheint für die Bundesregierung auch der Rückgriff auf den Emissionshandel zur Zielerreichung möglich zu sein. Im Regierungsprogramm heißt es u.a.:

„Einsatz für ein wirkungsvolles ETS-System und einen CO₂-Mindestpreis auf europäischer Ebene“.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde mangels genauer Definition des Ziels in Abstimmung mit dem Auftraggeber untersucht, ob und wie eine **Energieautonomie im Sinne der Vorgaben des Tiroler Ziels „Energieautonomie 2050“** gelingen kann und welche Änderungen im Energiesystem hierfür notwendig wären.

Mit dem vorliegenden Ziel-Szenario „Unser Weg nach Tirol 2050“ werden die o.g. Bundes-Ziele erreicht.

13.3 Tirol

Mit dem vorliegenden Ziel-Szenario „Unser Weg nach Tirol 2050“ wird die angestrebte Energieautonomie 2050 – Deckung des Endenergiebedarfs im Jahressaldo zu 100% aus heimischen erneuerbaren Energieträgern – erreicht.

13.4 Empfehlung

Es wird empfohlen, den bisher **eingeschlagenen Weg** zur Erlangung der Energieautonomie mit **deutlich verstärktem Einsatz** bis zum Jahr 2050 **forciert weiter zu verfolgen**. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zielerreichung mit den angenommenen eingesetzten Technologien unter Rückgriff auf die heimischen Ressourcen möglich ist, dass dies jedoch in sämtlichen Bereichen **konsequent und umgehend angegangen** werden muss. Der Umbau des Energiesystems muss in den nächsten 30 Jahren erfolgen – nicht mehr viel Zeit, wenn beispielsweise die Produktzyklen in

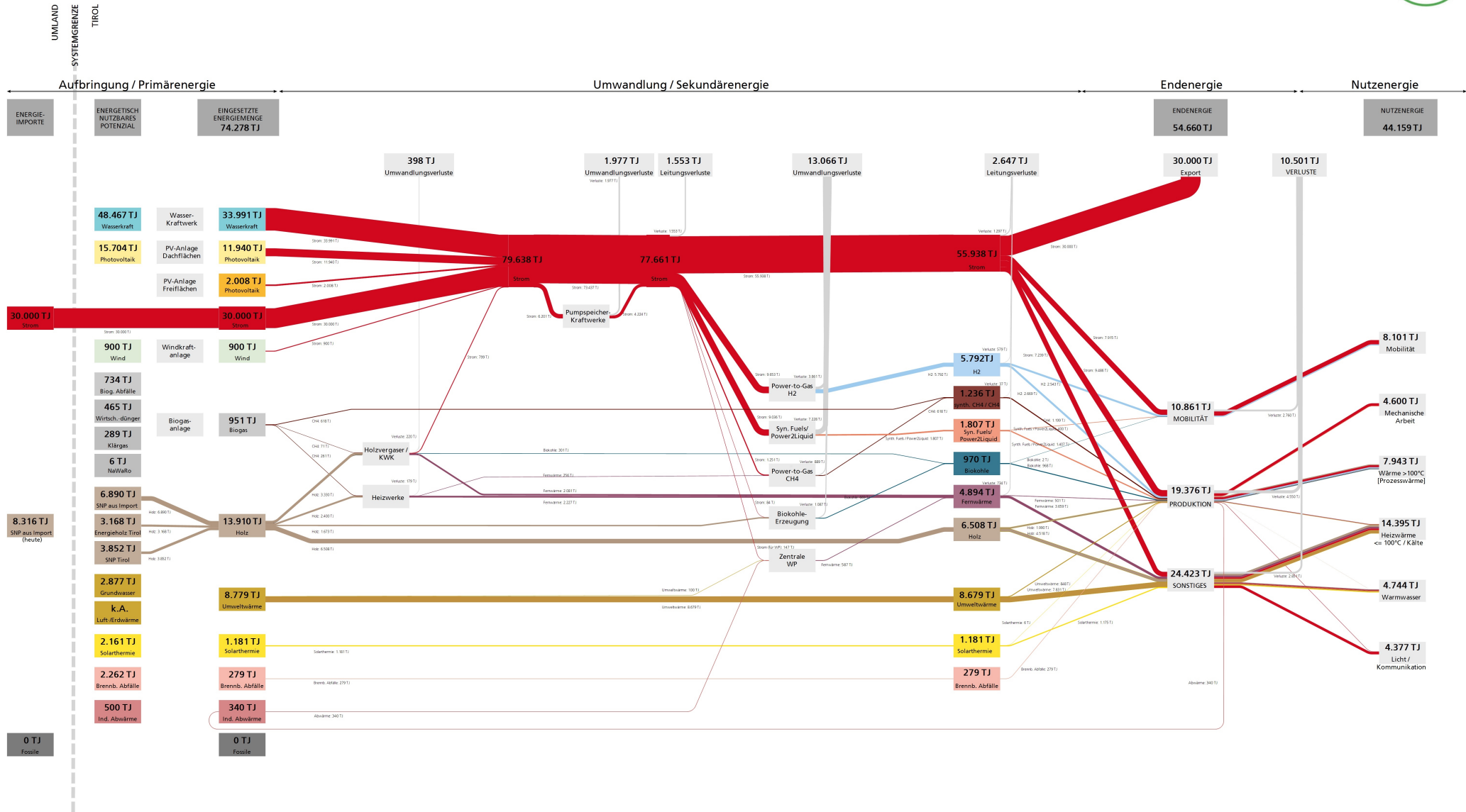
der Fahrzeugindustrie oder auch die Sanierungsraten im Gebäudebereich betrachtet werden. Für alle Bereiche wurde jedoch auch in Abstimmung mit den beteiligten Fachgremien die Realisierbarkeit einer weitestgehenden Energieautonomie bis zum Jahr 2050 als **gerade noch realistisch machbar** eingestuft – Maßnahmen zur bestmöglichen Substitution Fossiler Energieträger und eine grundsätzliche optimale Energieeffizienzsteigerung in allen Bereichen vorausgesetzt.

Die Ergebnisse der Betrachtung des **Szenarios 2040** – das heißt einer **um ein Drittel verkürzten Aktionszeit** zur Erreichung einer Energieautonomie – zeigten, dass v.a. im Gebäudebereich mit einer zu geringen Quote grundlegender hochwertiger Sanierungen und im Mobilitätsbereich mit zu langen Produktzyklen eine Erreichung der Energieautonomie **mit den hinterlegten realistischen Annahmen nicht möglich erscheint**. Es ist davon auszugehen, dass es daher **auch bei größtmöglicher Anstrengung in allen Bereichen** im Jahr 2040 noch **fossiler Energieträger bedarf**. Dies wird v.a. den Mobilitätssektor betreffen, aber auch die Wärmebereitstellung in Gebäuden. Im Sinne der Erreichung einer von der Bundesregierung angestrebten Klimaneutralität (s.o.) sind daher noch benötigte fossile Energieträger entweder durch **Importe entsprechender geeigneter Erneuerbarer Energieträger** zu ersetzen oder aber **im Zuge des Zertifikatshandels (ETS) auszugleichen**.

14 FLUSSBILDER

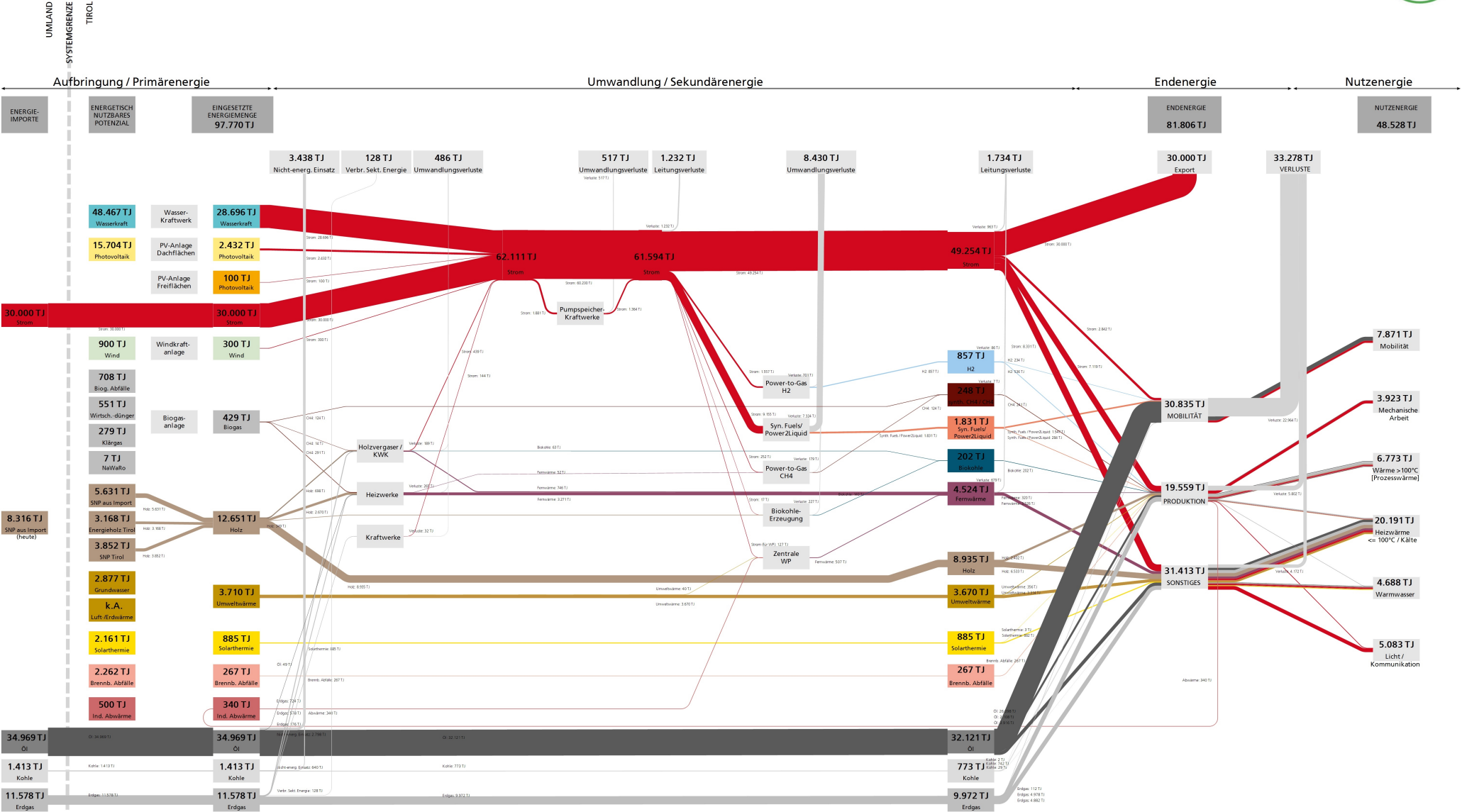
14.1 Szenario 2050

ENERGIEFLÜSSE TIROL 2050
Zielszenario 2050 im Jahr 2050



ENERGIEFLÜSSE TIROL 2050

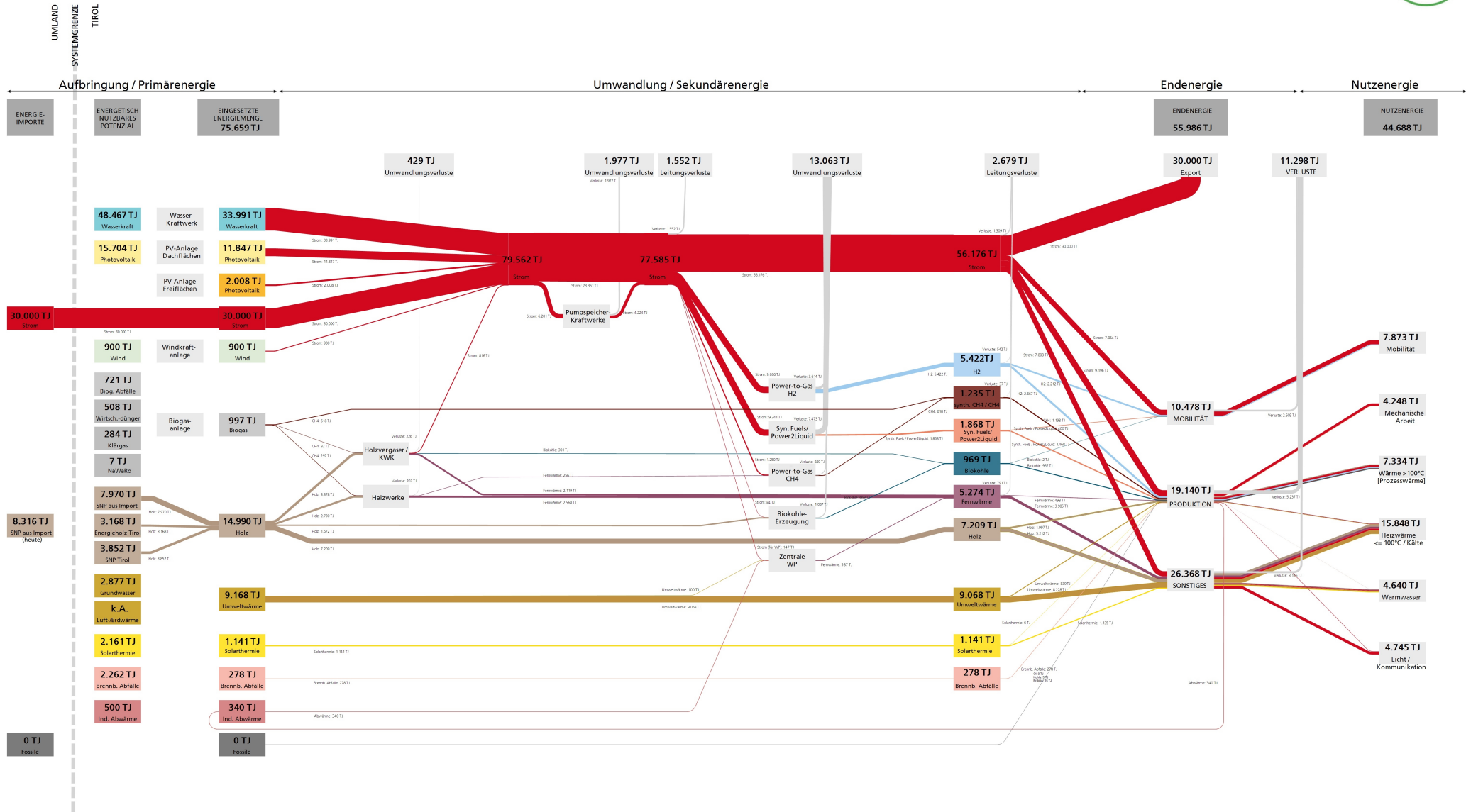
Zielszenario 2050 - Zwischenziel 2030



14.2 Szenario 2040

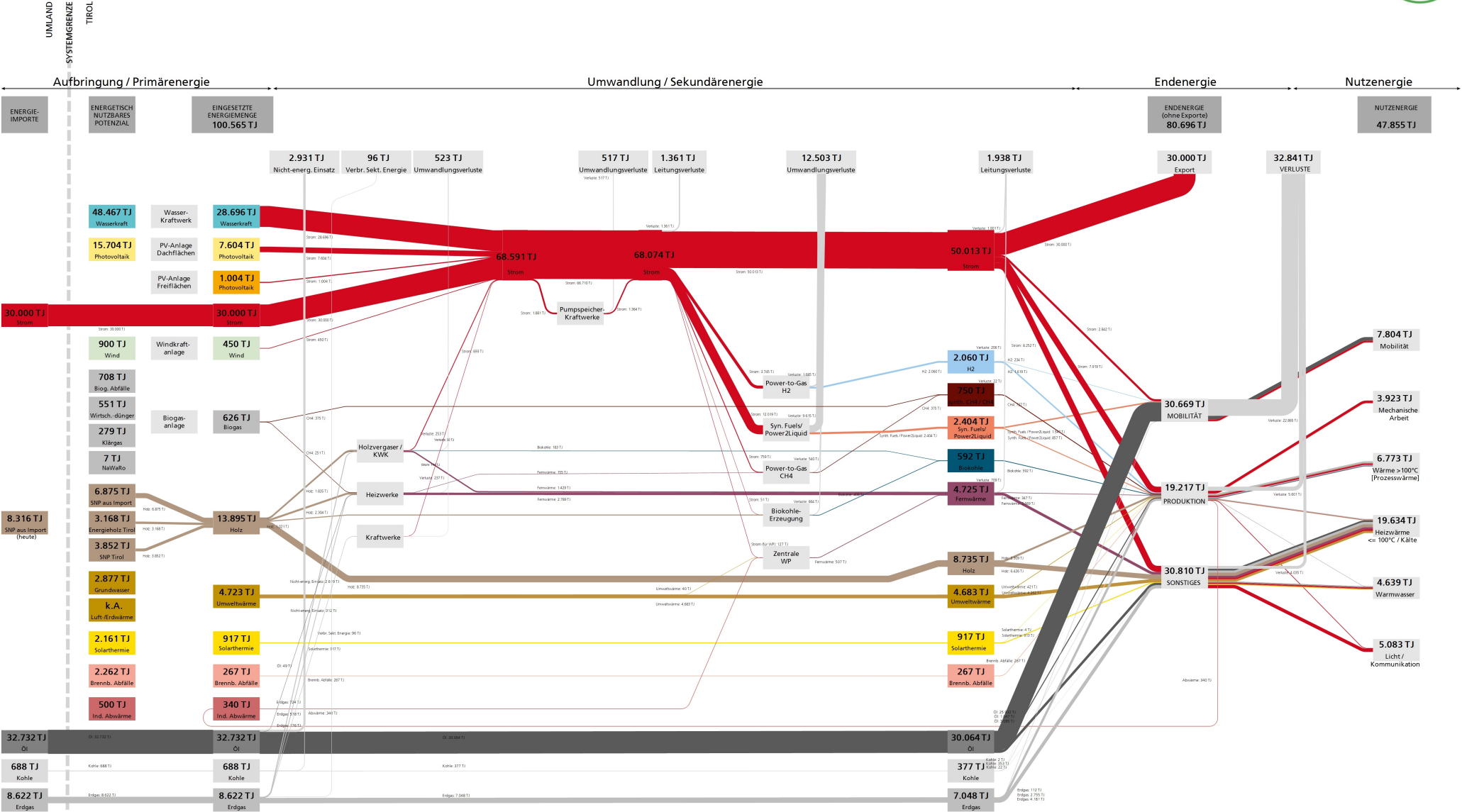
ENERGIEFLÜSSE TIROL 2050

Zielszenario 2040 im Jahr 2040



ENERGIEFLÜSSE TIROL 2040

Zielszenario 2040 - Zwischenziel 2030





15 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Systemverständnis.....	18
Abb. 2:	Energiewandlungskette und Begriffe.	19
Abb. 3:	Zielpfad des Wasserkraftausbaus in Tirol bis 2036 ohne Berücksichtigung eventueller Stilllegungen / Erzeugungseinbußen im Rahmen der Umsetzung der EU-WRRL.	25
Abb. 4:	Eine von vier Freiflächenanlagen in Assling.....	28
Abb. 5:	Holzflussbild Tirol.	30
Abb. 6:	Anteil der Fahrleistungen im Leichtverkehr, Szenario 2050.	45
Abb. 7:	Anteil der Fahrleistungen im Schwerverkehr, Szenario 2050.	46
Abb. 8:	Zeitlicher Verlauf der Nutzenergie Mobilität, Szenario 2050.	49
Abb. 9:	Zeitlicher Verlauf der Endenergie Mobilität, Szenario 2050.	49
Abb. 10:	Energieentwicklung der Industrieprozesse (ohne Industriegebäude) mit Austausch bis 2050.	55
Abb. 11:	Entwicklung der Energieträger von Industrieprozessen inkl. Industriegebäuden - Endenergie bis 2050.	55
Abb. 12:	Durchschnittliche Wohnflächenentwicklung (Nutzfläche) in Tirol bis 2050.	60
Abb. 13:	Angenommene Bevölkerungsentwicklung in Tirol bis 2050.	60
Abb. 14:	Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario 2050 für den Gebäudebereich (Wohn- und Nicht-Wohngebäude inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie).	68
Abb. 15:	Endenergie aus fossilen Energieträgern im Basisjahr 2016 und Zwischenziel 2030.	69
Abb. 16:	Entwicklung des Nutzenergie-Einsatzes in Tirol im Szenario 2050.	72
Abb. 17:	Entwicklung des Endenergie-Einsatzes in Tirol im Szenario 2050.	73
Abb. 18:	Entwicklung der einzusetzenden Energiemengen im Szenario 2050.....	74
Abb. 19:	Vereinfachtes Flussbild des Szenarios 2050 im Jahr 2030 (Zwischenziel).	76
Abb. 20:	Vereinfachtes Flussbild des Szenarios 2050 im Jahr 2050.	76
Abb. 21:	Solarblume.	77
Abb. 22:	Windpark Gries am Nufenenpass.	78
Abb. 23:	Elektrolyseur der Firma MPreis in Völs.....	78
Abb. 24:	Demonstrationsanlage Allendorf.....	79
Abb. 25:	Pyrolyse-Anlage zur Erzeugung von Biokohle.....	80
Abb. 26:	Heizkraftwerk Biowärme Längenfeld.....	80
Abb. 27:	Bau der Erdwärmesondenanlage Kaunertal.	81
Abb. 28:	Anteil der Fahrleistungen im Leichtverkehr, Szenario 2040.	83
Abb. 29:	Anteil der Fahrleistungen im Schwerverkehr, Szenario 2040.	84
Abb. 30:	Zeitlicher Verlauf der Nutzenergie Mobilität, Szenario 2040.	85
Abb. 31:	Zeitlicher Verlauf der Endenergie Mobilität, Szenario 2040.	86
Abb. 32:	Energieentwicklung der Industrieprozesse (ohne Industriegebäude) mit Austausch bis 2040.	88
Abb. 33:	Entwicklung der Energieträger von Industrieprozessen und Industriegebäuden – Endenergie bis 2040.	88
Abb. 34:	Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario 2040 für den Gebäudebereich (Wohn- und Nicht-Wohngebäude inklusive Landwirtschaft und exklusive Industrie).....	91
Abb. 35:	Entwicklung des Nutzenergie-Einsatzes in Tirol im Szenario 2040.	93
Abb. 36:	Entwicklung des Endenergie-Einsatzes in Tirol im Szenario 2040.	94
Abb. 37:	Entwicklung der einzusetzenden Energiemengen im Szenario 2040.....	95
Abb. 38:	Vereinfachte Darstellung des Energieflussbildes des Szenarios 2040 im Jahr 2030 (Zwischenziel).	97
Abb. 39:	Vereinfachte Darstellung des Energieflussbildes des Szenarios 2040 im Jahr 2040.	97
Abb. 40:	Mobilitätsbezogene Betrachtung der Systemabgrenzung.....	151
Abb. 41:	Grobabschätzung des Potenzials zur Energieeinsparung durch Verhaltensänderung.....	153

16 TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Wasserkraftanlagen-Ausbaupfad Tirol 2011 bis 2050 (gerundet).....	25
Tab. 2:	Methanertragspotenziale [TJ] in Tirol (gerundet).....	32
Tab. 3:	Überblick über energetisch nutzbare Potenziale Tirols 2040 und 2050.	36
Tab. 4:	Übersicht der Umwandlungstechnologien und deren Wirkungsgrade.	37
Tab. 5:	Nutzenergie Mobilität 2016.....	47
Tab. 6:	Nutzenergie Mobilität 2050.....	48
Tab. 7:	Systemwirkungsgrade und maximale Effizienzsteigerungen.	53
Tab. 8:	Moderat Ambitionierter Technologieumstieg.	53
Tab. 9:	Datenbasis Wohngebäude.....	58
Tab. 10:	Datenbasis Nicht-Wohngebäude.	59
Tab. 11:	Abrissrate in Abhängigkeit der Bauperiode und des betrachteten Zeitraums.	60
Tab. 12:	Angesetzte Neubauqualität in Abhängigkeit der Gebäudekategorie.	61
Tab. 13:	Angenommener zukünftiger Warmwasserwärmebedarf (Nutzenergie).	61
Tab. 14:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode.	62
Tab. 15:	Angesetzte Sanierungsqualität in Abhängigkeit der Gebäudekategorie.	62
Tab. 16:	Gesamt-Austauschrate Heizsystem (inklusive äquivalenter umfassender Sanierung) nach Bauperiode für Wohn- gebäude.....	63
Tab. 17:	Angenommene Wirkungsgrade für Raumwärme in Abhängigkeit von verwendeten Energieträger in Wohngebäuden. ..	64
Tab. 18:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme.....	65
Tab. 19:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für EFH nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.	65
Tab. 20:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Warmwasser.	66
Tab. 21:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für EFH nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.	67
Tab. 22:	Gesamt Gebäudeanzahl pro Gebäudekategorie in Jahren 2016 und 2030 sowie Anzahl von Gebäuden mit Fernwärme- und Wärmepumpen-Heizsystem.	69
Tab. 23:	Anzahl von neuen Wohngebäuden und Wohngebäuden mit Heizanlagentausch (HAT) (als einzelne Maß- nahme und innerhalb einer Sanierung).	70
Tab. 24:	Anzahl von neuen Nicht-Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden mit Heizanlagentausch (HAT) (als einzelne Maßnahme und innerhalb einer Sanierung).	70
Tab. 25:	Zwischenziel- und Endwerte des Szenarios 2050 auf Nutzenergieebene.....	71
Tab. 26:	Zwischenziel- und Endwerte des Szenarios 2050 auf Endenergieebene.	73
Tab. 27:	Einzusetzende Energie 2016 , 2030 und 2050 des Szenarios 2050.....	75
Tab. 28:	Beispielhafte Darstellung des notwendigen Photovoltaikanlagen-Zubaus bis 2030 bzw. 2050.	78
Tab. 29:	Beispielhafte Darstellung des notwendigen Wärmepumpenzubaus bis 2030 bzw. 2050.	81
Tab. 30:	Beispielhafte Darstellung des benötigten Anlagenzubaus im Szenario 2050.	82
Tab. 31:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode (für Szenario 2040 angenommen).	89
Tab. 32:	Gesamt-Austauschrate Heizsystem (inklusive äquivalenter umfassender Sanierung) nach Bauperiode.	89
Tab. 33:	Zwischenziel- und Endwerte des Szenarios 2040 auf Nutzenergieebene.....	92
Tab. 34:	Zwischenziel- und Endwerte des Szenarios 2040 auf Endenergieebene.	94
Tab. 35:	Einzusetzende Energie 2016 , 2030 und 2040 des Szenarios 2040.....	96
Tab. 36:	Möglicher benötigter Anlagenausbau im Szenario 2040.	98
Tab. 37:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme.....	125
Tab. 38:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete MFH-K im Bereich Raumwärme.	125
Tab. 39:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete MFH-G im Bereich Raumwärme.	126
Tab. 40:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für EFH nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.....	126

Tab. 41:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für MFH-K nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.....	127
Tab. 42:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für MFH-G nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung..... oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.....	127
Tab. 43:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Warmwasser.	128
Tab. 44:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete MFH-K im Bereich Warmwasser.	129
Tab. 45:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete MFH-G im Bereich Warmwasser.	130
Tab. 46:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für EFH nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung..... oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.	131
Tab. 47:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für MFH-K nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.	132
Tab. 48:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für MFH-G nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung..... oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.	133
Tab. 49:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Mischnutzung (Hotels).	134
Tab. 50:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gewerbe.	134
Tab. 51:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Weiter Nutzung (Industrie).	135
Tab. 52:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) nach einer äquivalen-..... ten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.	135
Tab. 53:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gewerbe nach einer äquivalenten umfassenden Sanie-..... rung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.	136
Tab. 54:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Weiter Nutzung (Industrie) nach einer äquiva lenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.	136
Tab. 55:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) im Be- reich Warmwasser.	137
Tab. 56:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gewerbe im Bereich Warmwasser.....	138
Tab. 57:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Weiter Nutzung (Industrie) im Bereich Warmwasser.	139
Tab. 58:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) nach einer äquivalen-..... ten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.	140
Tab. 59:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gewerbe nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.	141
Tab. 60:	Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Weiter Nutzung (Industrie) nach einer äquiva-..... lenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser..	142
Tab. 61:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode.	143
Tab. 62:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-K nach Bauperiode.	143
Tab. 63:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-G nach Bauperiode.....	144
Tab. 64:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate bei Mischnutzung (Hotel) nach Bauperiode.....	144
Tab. 65:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim Gewerbe nach Bauperiode.....	145
Tab. 66:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate für Industrie nach Bauperiode.	145
Tab. 67:	Angenommene Heizsystem Austauschrate für Wohngebäude und Nicht Wohngebäude.	146
Tab. 68:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode.....	147
Tab. 69:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-K nach Bauperiode.	147
Tab. 70:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-G nach Bauperiode.....	148
Tab. 71:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate bei Mischnutzung (Hotel) nach Bauperiode.....	148
Tab. 72:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim Gewerbe nach Bauperiode.....	149
Tab. 73:	Äquivalente umfassende Sanierungsrate für Industrie nach Bauperiode.	149
Tab. 74:	Angenommene Heizsystem Austauschrate für Wohngebäude.	150
Tab. 75:	Angenommene Heizsystem Austauschrate für Nicht Wohngebäude.....	150

17 LITERATURVERZEICHNIS

- ARGE ECO.IN (2011): Studie über die Erschließung des Potenzials biogener Haushaltsabfälle und Grünschnitt zum Zwecke der Verwertung in einer Biogasanlage zur optimierten energetischen und stofflichen Verwertung. Anwendungsbeispiel Modellregion Mödling. 204 S.
- AdTLR (2011): Wasserkraft in Tirol. Potenzialstudie. Ermittlung des noch verfügbaren Wasserkraftpotenzials in Tirol. 126 S.
- AdTLR (2011): Deklaration. Gemeinsames Verständnis zur künftigen Wasserkraftnutzung in Tirol. 1 S.
- AdTLR (2013): Windenergie in Tirol. Entwurf. 110 S.
- AdTLR (2014): Kläranlagenkataster Tirol 2013. Gesamtauswertung Tirol. 16 S.
- AdTLR (2014): Die Tiroler Bevölkerung. Ergebnisse der Registerzählung 2011. 154 S.
- AdTLR (2015): Solarpotenziale im Land Tirol. Technischer Bericht Tirol. 43 S.
- AdTLR (2017): Tiroler Abfallstatistik. 13 S.
- AdTLR (2017): Emissionskataster nach §9 IG-L (Immissionsschutzgesetz - Luft, BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.g.F.) (abgerufen im Okt. 2017).
- AdTLR (2019): Demographische Daten Tirol 2018. 129 S.
- ANDERLE, N. & ARIC, K. & STEINHAUSER, P. (1978): Erste Ergebnisse der Erfassung des Grundwasserdargebotes. Tiroler Umweltschutzkonzept-Bestandsaufnahme. 65 S.
- BMLFUW (2014): Kommunales Abwasser. Österreichischer Bericht 2014. 116 S.
- BMNT (2017): Bundesabfallwirtschaftsplan 2017. Teil 1. 304 S.
- BMNT (2017): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017. Teil 2. 292 S.
- BMNT (2018): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2018. 97 S.
- BMNT & BMVIT (2018): #mission2030. Die Klima- und Energiestrategie der Österreichischen Bundesregierung. 64 S.
- BUTTNER, A. & SPLITHOFF, H. (2018): Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids. In: Renewable and Sustainable Energy Review, Band 82. S. 2440-2454.
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (2018): Ratgeber-Reihe "Energieeffiziente Technologien für Industrie und Gewerbe" aus der Initiative Energieeffizienz.
- DOBLER, C. & STREICHER, W. (2017): Endbericht Energieplan Innsbruck. Energieszenarien 2015-2050. Ausführliche Dokumentation.
- EBENBICHLER, R. & HERTL, A. & STREICHER, W. & FISCHER, D. ET AL. (2018): Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050. Endbericht. 220 S.
- EICKER, U. (2011): Solarthermische Anlagen für Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung.
- ENERGIE TIROL (2017): Ja zu Solar! Die Kraft der Sonne nutzen. 6 S.
- FFE (2014): Faktenblatt Dampfkessel. 5 S.
- FLEISCHACKER, E. (1994): Methodischer Problemlösungsansatz für ein zukunftsorientiertes Wasserwirtschaftskonzept. In: Wasserwirtschaft, Band 84. S. 544-548.
- FLEITER, T. & SCHLOMANN, B. & EICHHAMMER, W. (2013): Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Prozesstechnologien - Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. 570 S.
- FRITZ, D. & HEINFELLNER, H. & LICHTBLAU, G. & PÖLZ, W. ET AL. (2016): Ökobilanz alternativer Antriebe. Fokus Elektrofahrzeuge. 60 S.
- FÜRST, B. & AICHMAIER, H. & HEINRICH, N. & HÖBLINGER, B. ET AL. (2019): Rastanlagen 2025+ RAST2025+. 176 S.
- HERTL, A. & BLOME, P. & EBENBICHLER, R. (2020): Tiroler Energiemonitoring 2019. Statusbericht zur Umsetzung der Tiroler Energiestrategie. 141 S.
- HYDROGEIT (2015): Power-to-Gas - Mikroben sollen Kosten senken. 1 S.
- IUT (2003): Restmüllentsorgung Tirol - Kurzbericht. 61 S.
- INGERLE, K. (1988): Beitrag zur Berechnung der Abkühlung des Grundwasserkörpers durch Wärmepumpen. In: Österreichische Wasserwirtschaft, Band 40(11/12)..
- KALTSCHMITT, M. & HARTMANN, H. & HOFBAUER, H. (2016): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 1760 S.
- KALTSCHMITT, M. & STREICHER, W. & WIESE, A. (2013): Erneuerbare Energien, Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte.
- KURZWEIL, P. & DIETLMEIER, O.K. (2015): Elektrochemische Speicher. Superkondensatoren, Batterien, Elektrolyse-Wasserstoff, Rechtliche Grundlagen. 579+XIX S.
- LINDORFER, J. & FAZENL, K. & TICHLER, R. & STEINMÜLLER, H. (2017): Erhöhung des Einsatzes von erneuerbarem Methan im Wärmebereich. 109 S.
- OIB (2014): OIB-Richtlinien. OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in

- einem "Nationalen Plan" gemäß Artikel 9(3) zu 2010/31/EU.
- OIB (2014): OIB-Richtlinien. OIB-Erläuterung der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen OIB-Dokumenten, den Österreichischen und Europäischen Normen zur Umsetzung der Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden (EPBD).
- OBERHUBER, A. & DENK, D. (2014): Zahlen, Daten, Fakten zu Wohnungspolitik und Wohnungswirtschaft in Österreich.
- OBLASSER, S. & FLEISCHACKER, E. & SCHIECHTL, F. (1993): EnergieKonzeptTirol 1993. Rahmenkonzept. 125 S.
- PFEIFER, D. & KEPPLINGER, P. (2016): EneRALP Tool Softwaredokumentation - Datenintegrations- und Energiebedarfsberechnungsmodell.
- RECHNUNGSHOF ÖSTERREICH (2006): Abfallwirtschaftskonzept im Land Tirol. 21 S.
- RECHNUNGSHOF ÖSTERREICH (2017): Restmüllentsorgung in Tirol; Follow-up-Überprüfung. Bericht des Rechnungshofes. 20 S.
- STATCUBE (2016): Baubewilligungen, Neuerrichtung ganzer Gebäude ab 2010 ([www](http://www.statcube.at), abgerufen am 24.07.2016).
- STATCUBE (2018): Registerzählung 2011. Gebäude- und Wohnungszählung (GWZ).
- SANDOZ GMBH (2018): Nachhaltigkeitsbericht 2018 mit integrierter Umwelterklärung. 64 S.
- SAUER, A. & BAUERNHANS, T. (2016): Energieeffizienz in Deutschland - eine Metastudie. 321+XIX S.
- SCHRIEFL, E. (2007): Modellierung der Entwicklung von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im österreichischen Wohngebäudebestand unter Annahme verschiedener Optimierungsziele.
- SHINNAR, R. (2003): The hydrogen economy, fuel cells, and electric cars. In: Technology in Society, Band 25(4). S. 455-476.
- STATISTIK AUSTRIA (2014): Fahrzeug-Bestand zum 31.12.2013. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2014): Fahrzeug-Bestand am 31.12.2013 nach Fahrzeugarten. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2015): Bestand an Kraftfahrzeugen 2014. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2015): Fahrzeug-Bestand am 31.12.2014 nach Fahrzeugarten. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2016): Bestand an Kraftfahrzeugen 2015. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2016): Statistisches Jahrbuch Österreichs. 583 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2016): Statistisches Jahrbuch Österreichs 2017.
- STATISTIK AUSTRIA (2016): Fahrzeug-Bestand am 31.12.2015 nach Fahrzeugarten. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2017): Bundesländer-Energiebilanzen Tirol 1988-2016. 61 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2017): Nutzenergieanalyse für Tirol 1993 - 2016. 26 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2017): Jahresdurchschnittsbevölkerung 1952-2016 nach Bundesland. 1 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2017): Vorausberechnete Bevölkerungsstruktur für Tirol 2016-2100 laut Hauptszenario. 1 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2017): Bestand an Kraftfahrzeugen 2016. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2017): Fahrzeug-Bestand am 31.12.2016 nach Fahrzeugarten. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2018): Bestand an Kraftfahrzeugen 2017 nach Fahrzeugarten. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2018): Fahrzeug-Bestand am 31.12.2017 nach Fahrzeugarten. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2019): Fahrzeug-Bestand am 31.12.2018 nach Fahrzeugarten. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 9 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2019): Bundesländerenergiebilanzen Tirol 1988 - 2018. 60 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2019): Nutzenergieanalyse für Tirol 1993 - 2018. 27 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2019): Energieeinsatz der Haushalte (Mikrozensus 1999-2018) - Fahrleistungen und Treibstoffeinsatz privater Pkw nach Bundesländern. 20 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2019): Fahrzeug-Bestand am 31.12.2018 nach Fahrzeugarten. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2020): Fahrzeug-Bestand am 31.12.2019 nach Fahrzeugarten. Absolut, Anteile und Veränderung zum Vorjahr. 14 S.
- STATISTIK AUSTRIA (2020): Fahrzeug-Bestand am 31.12.2019 nach Fahrzeugarten. 9 S.
- STERNER, M. & STADLER, I. (2017): Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration. 861+XXIV S.
- STREICHER, W. & SCHNITZER, H. & TITZ, M. & TATZBER, F. ET AL. (2010): Energieautarkie für Österreich 2050. Feasibility Study. Endbericht. 141 S.
- TB HAUER (2010): Tiroler Abfallwirtschaft. Grundlagen zur "Phase 3 - Thermische Abfallbehandlungsanlage in Tirol". Studie im Auftrag Amt der Tiroler Landesregierung. 128 S.
- THALHEIM, F. (2019): Wie heizt Tirol? Pilotgebiet Planungsverband 29 - Wörgl und Umgebung. Energiesystemanalyse Planungsverband 29. 54 S.
- TIROLER UMWELTANWALTSCHAFT (2013): Photovoltaik-Anlagen. Vorläufiges Positionspapier der Tiroler Umweltanwaltschaft. 7 S.
- TOMSCHY, R. & HERRY, M. & SAMMER, G. & KLEMENSCHITZ, R. ET AL. (2016): Österreich unterwegs 2013/14. Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätsbefragung "Österreich unterwegs 2013/14".
- UMWELTBUNDESAMT (2017): Energie- und Treibhausgas-Szenarien im Hinblick auf 2030 und 2050. Synthesebericht 2017. 95 S.
- VCÖ (2020): Grünen Wasserstoff sinnvoll im Verkehr einsetzen. 8 S.

WKO (2017): WKO Statistik Österreich. Wirtschaftslage und Prognose der Sachgütererzeugung.

WASSER TIROL & SPIEGLTEC (2009): Abwärmekataster Tirol. Potentialanalyse über die Wärmeversorgung von Haushalten aus industrieller Abwärme für den Tiroler Zentralraum. 90 S.

WATTER, H. (2019): Regenerative Energiesysteme. Grundlagen, Systemtechnik und Analysen ausgeführter Beispiele nachhaltiger Energiesysteme. 487+XVIII S.

WESSELAK, V. & SCHABBACH, T. & LINK, T. & FISCHER, J. (2017): Handbuch Regenerative Energietechnik. 943+XV S.

WIETSCHEL, M. & GNANN, T. & KÜHN, A. & PLÖTZ, P. ET AL. (2017): Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw. 311 S.

WINKELMEIER, H. & KRENN, A. & ZIMMER, F. (2014): Das realisierbare Windpotential Österreichs für 2020 und 2030. Follow-Up Studie zum Projekt "Windatlas und Windpotentialstudie Österreich". 37 S.

BDEW (2016): Erdgas best practice. Effizient und Innovativ. 25 Beispielhafte Erdgas-Anwendungen. 66 S.

ÖROK (2015): ÖROK-Regionalprognosen 2014 - Bevölkerung: Ausführliche Tabellen zur kleinräumigen ÖROK-Prognose 2014.

ÖVP & DIE GRÜNEN (2020): Regierungsprogramm 2020-2024. Aus Verantwortung für Österreich. 326 S.

ÖWAV (2009): ÖWAV-Regelblatt 207 - Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen. 66 S.

18 ANHANG

18.1 Energieträgerverteilung Gebäude

Folgenden Tabellen sind die Energieträgerverteilungen für die Szenarien 2050 und 2040 für unterschiedliche Gebäudetypen zu entnehmen.

18.1.1 Wohngebäude

Tab. 37: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Öl	0,9%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	82,7%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	6,7%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,9%	1,7%
Holz	2,9%	2,9%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,4%	3,5%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,4%	3,5%
Wärmepumpe	12,2%	91,8%

Tab. 38: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete MFH-K im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung MFH-K (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Öl	1,1%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	90,1%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	4,5%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	2,2%	4,5%
Holz	1,8%	1,8%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	1,8%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,7%	3,1%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,4%	3,1%
Wärmepumpe	4,1%	90,6%

Tab. 39: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete MFH-G im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung MFH-G (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei Neubau	2019-2020	2021-2050
Öl	1,2%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	76,0%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	4,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	18,0%	35,9%
Holz	0,5%	0,5%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,5%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,4%	4,3%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,4%	4,3%
Wärmepumpe	3,9%	59,3%

Tab. 40: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für EFH nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Öl	33,4%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	1,1%	0,0%
Gas	10,4%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	4,7%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	1,9%	3,8%
Holz	49,1%	49,1%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,8%	2,9%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Wärmepumpe	4,4%	44,2%

Tab. 41: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für MFH-K nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung MFH-K (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Öl	26,3%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,8%	0,0%
Gas	25,0%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	3,5%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	10,0%	23,0%
Holz	35,9%	35,9%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	2,2%
Strom (ohne Wärmepumpe)	1,4%	2,2%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,0%	2,2%
Wärmepumpe	1,5%	39,0%

Tab. 42: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für MFH-G nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung MFH-G (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Öl	25,2%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,8%	0,0%
Gas	38,1%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	3,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	23,0%	32,2%
Holz	11,4%	11,4%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	1,4%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,9%	2,9%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Wärmepumpe	1,4%	53,5%

Tab. 43: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	41,3%	38,2%
Öl	0,6%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	29,9%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	6,0%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,9%	1,7%
Holz	1,0%	0,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,4%	3,5%
Wärmepumpe	2,6%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	2,1%	0,0%
Gas	2,1%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	3,7%	0,0%
Strom	3,7%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	0,1%	10,0%
Wärmepumpe	0,1%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	49,5%	48,6%
Öl	0,2%	0,0%
Gas	43,8%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	5,5%	48,6%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	3,3%	3,3%
Strom	3,3%	3,3%

Tab. 44: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete MFH-K im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung MFH-K (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	64,2%	39,4%
Öl	0,4%	0,0%
Öl in Kombination mit therm. Solarenergie	0,0%	0,0%
Gas	52,3%	0,0%
Gas in Kombination mit therm. Solarenergie	4,5%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,6%	0,0%
Holz in Kombination mit therm. Solarenergie	0,0%	1,8%
Fernwärme	2,2%	4,5%
Strom in Kombination mit therm. Solarenergie	0,4%	3,1%
Wärmepumpe	3,7%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	3,7%	0,0%
Gas	3,7%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	7,4%	0,0%
Strom	7,4%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	21,8%	47,8%
Öl	0,2%	0,0%
Gas	19,0%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,8%	0,0%
Wärmepumpe	1,8%	47,8%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	2,9%	2,9%
Strom	2,9%	2,9%

Tab. 45: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete MFH-G im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung MFH-G (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	70,6%	70,7%
Öl	0,4%	0,0%
Öl in Kombination mit therm. Solarenergie	0,0%	0,0%
Gas	46,4%	0,0%
Gas in Kombination mit therm. Solarenergie	4,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,2%	0,0%
Holz in Kombination mit therm. Solarenergie	0,0%	0,5%
Fernwärme	18,0%	35,9%
Strom in Kombination mit therm. Solarenergie	0,4%	4,3%
Wärmepumpe	0,8%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	6,5%	0,0%
Gas	6,5%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	9,6%	0,0%
Strom	9,6%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	0,1%	10,0%
Wärmepumpe	0,1%	10,0%
Solarenergie kombiniert mit Heizsystem	10,3%	16,5%
Öl	0,2%	0,0%
Gas	8,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	1,8%	16,5%
Solarenergie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	2,8%	2,8%
Strom	2,8%	2,8%

Tab. 46: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für EFH nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	49,0%	60,8%
Öl	13,4%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	1,1%	0,0%
Gas	5,6%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	4,7%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	1,9%	3,8%
Holz	21,2%	21,2%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Wärmepumpe	1,2%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	0,0%	0,0%
Gas	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	43,8%	0,0%
Strom	43,8%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	3,9%	25,9%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	1,6%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,3%	25,9%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	3,3%	3,3%
Strom	3,3%	3,3%

Tab. 47: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für MFH-K nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung MFH-K (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2020	2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	44,0%	66,3%
Öl	10,5%	0,0%
Öl in Kombination mit therm. Solarenergie	0,8%	0,0%
Gas	9,7%	0,0%
Gas in Kombination mit therm. Solarenergie	3,5%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	9,0%	9,0%
Holz in Kombination mit therm. Solarenergie	0,0%	2,2%
Fernwärme	10,0%	23,0%
Strom in Kombination mit therm. Solarenergie	0,0%	2,2%
Wärmepumpe	0,4%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	0,0%	0,0%
Gas	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Nah-/Fernwärme	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	49,8%	0,0%
Strom	49,8%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	3,4%	20,8%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	1,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,0%	20,8%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	2,9%	2,9%
Strom	2,9%	2,9%

Tab. 48: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für MFH-G nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung MFH-G (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2020	2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	46,9%	66,5%
Öl	10,1%	0,0%
Öl in Kombination mit therm. Solarenergie	0,8%	0,0%
Gas	8,6%	0,0%
Gas in Kombination mit therm. Solarenergie	3,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,6%	0,0%
Pellets in Kombination mit therm. Solarenergie	0,0%	1,4%
Fernwärme	23,0%	32,2%
Strom in Kombination mit therm. Solarenergie	0,0%	2,9%
Wärmepumpe	0,4%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	0,0%	0,0%
Gas	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	46,9%	0,0%
Strom	46,9%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	3,3%	20,7%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	1,3%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,0%	20,7%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	2,8%	2,8%
Strom	2,8%	2,8%

18.1.2 Nicht-Wohngebäude

Tab. 49: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Mischnutzung (Hotels).

Energieträgerverteilung MN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Öl	0,3%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	82,1%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	1,7%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	8,5%	16,9%
Holz	0,2%	1,0%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	1,0%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,9%	1,1%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,4%	1,1%
Wärmepumpe	8,1%	80,9%

Tab. 50: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gewerbe.

Energieträgerverteilung GW (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Öl	0,0%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	83,8%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	4,2%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	12,7%	25,3%
Holz	0,2%	1,0%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	1,0%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,2%	3,3%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,1%	3,3%
Wärmepumpe	3,2%	70,4%

Tab. 51: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Weiter Nutzung (Industrie).

Energieträgerverteilung WN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Öl	0,0%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	68,6%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	22,8%	34,2%
Holz	0,2%	1,0%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,5%
Strom (ohne Wärmepumpe)	2,2%	0,5%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	1,1%	0,5%
Wärmepumpe	6,2%	64,3%

Tab. 52: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung MN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Öl	16,0%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	52,6%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	1,9%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	8,5%	16,9%
Holz	14,3%	14,3%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	1,1%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,6%	1,1%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,3%	1,1%
Wärmepumpe	8,1%	67,7%

Tab. 53: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gewerbe nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung GW (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Öl	10,6%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	58,9%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	4,1%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	12,7%	25,3%
Holz	14,3%	14,3%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	2,1%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,3%	2,1%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,2%	2,1%
Wärmepumpe	3,2%	58,2%

Tab. 54: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Weiter Nutzung (Industrie) nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung WN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Öl	2,4%	0,0%
davon: Öl in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	73,7%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	1,1%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	19,6%	29,4%
Holz	0,0%	1,0%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,5%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,0%	0,5%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,0%	0,5%
Wärmepumpe	4,3%	69,1%

Tab. 55: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung MN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	51,9%	32,6%
Öl	0,2%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	46,9%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	1,7%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,2%	0,4%
Holz	0,1%	0,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	1,0%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,4%	1,1%
Wärmepumpe	2,4%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	5,6%	0,0%
Gas	5,6%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	8,3%	16,5%
Fernwärme	8,3%	16,5%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	5,2%	0,0%
Strom	5,2%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	1,3%	25,0%
Wärmepumpe	1,3%	25,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	12,5%	18,3%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	10,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,0%	18,3%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	15,3%	7,6%
Strom	15,3%	7,6%

Tab. 56: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gewerbe im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung GW (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	59,4%	34,3%
Öl	0,0%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	52,1%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	4,2%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	1,0%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,1%	3,3%
Wärmepumpe	3,0%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	0,8%	0,0%
Gas	0,8%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	12,7%	25,3%
Fernwärme	12,7%	25,3%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	0,6%	0,0%
Strom	0,6%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	1,6%	25,0%
Wärmepumpe	1,6%	25,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	4,7%	5,3%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	2,1%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,6%	5,3%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	20,2%	10,1%
Strom	20,2%	10,1%

Tab. 57: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Weiter Nutzung (Industrie) im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung WN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei Neubau	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	40,5%	32,6%
Öl	0,0%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	37,6%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,5%	1,0%
Holz	0,0%	0,5%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,5%
Strom in Kombination mit Solarthermie	1,1%	0,5%
Wärmepumpe	1,3%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	6,8%	0,0%
Gas	6,8%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	22,3%	33,2%
Fernwärme	22,3%	33,2%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	20,0%	0,0%
Strom	20,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	0,7%	25,0%
Wärmepumpe	0,7%	25,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	4,7%	6,8%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	3,5%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	1,1%	6,8%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	5,0%	2,5%
Strom	5,0%	2,5%

Tab. 58: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung MN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	44,3%	49,3%
Öl	4,4%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	15,9%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	1,9%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	5,6%	8,9%
Holz	14,3%	13,2%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	1,1%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,3%	1,1%
Wärmepumpe	1,9%	25,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	6,9%	0,0%
Gas	6,9%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	2,9%	8,0%
Fernwärme	2,9%	8,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	32,8%	0,0%
Strom	32,8%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	1,9%	20,0%
Wärmepumpe	1,9%	20,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	2,2%	18,2%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	0,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	1,9%	18,2%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	9,0%	4,5%
Strom	9,0%	4,5%

Tab. 59: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gewerbe nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung GW (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	69,5%	50,4%
Öl	1,4%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	41,6%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	4,1%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	5,6%	8,9%
Holz	14,3%	12,2%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,1%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,2%	1,1%
Wärmepumpe	2,4%	25,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	0,7%	0,0%
Gas	0,7%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	7,1%	16,4%
Fernwärme	7,1%	16,4%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	15,3%	0,0%
Strom	15,3%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	2,4%	20,0%
Wärmepumpe	2,4%	20,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	2,4%	11,9%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	0,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,4%	11,9%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	2,6%	1,3%
Strom	2,6%	1,3%

Tab. 60: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Weiter Nutzung (Industrie) nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung WN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser bei äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme	2016-2020	2021-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	28,2%	52,8%
Öl	0,0%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	9,7%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	1,1%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	16,3%	21,2%
Holz	0,0%	0,5%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,5%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,5%
Wärmepumpe	1,1%	30,0%
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel	20,8%	0,0%
Gas	20,8%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme	3,2%	8,1%
Fernwärme	3,2%	8,1%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	37,1%	0,0%
Strom	37,1%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	1,1%	25,0%
Wärmepumpe	1,1%	25,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	1,1%	9,8%
Öl	0,0%	0,0%
Gas	0,0%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	1,1%	9,8%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. Elektro-Heizstab)	8,6%	4,3%
Strom	8,6%	4,3%

18.2 Sanierungsrate und Austauschrate Gebäude – Szenario 2050

18.2.1 Sanierungsrate Wohngebäude

Tab. 61: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	4,3 %	3,9 %	3,9 %
1920	1944	2,7 %	2,8 %	2,8 %
1945	1960	1,3 %	1,3 %	1,3 %
1961	1970	1,5 %	1,5 %	1,3 %
1971	1980	2,7 %	2,7 %	2,5 %
1981	1990	0,7 %	1,3 %	1,3 %
1991	2000	1,3 %	1,3 %	1,9 %
2001	2010	0,0 %	0,7 %	1,3 %
2011	2015	0,0 %	0,0 %	0,7 %
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %
2041	2050	-	-	0,0 %

Tab. 62: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-K nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	2,8 %	3,1 %	2,7 %
1920	1944	0,7 %	0,7 %	1,3 %
1945	1960	0,7 %	0,7 %	1,3 %
1961	1970	0,7 %	0,7 %	1,3 %
1971	1980	2,4 %	2,5 %	2,7 %
1981	1990	2,4 %	2,5 %	2,7 %
1991	2000	2,4 %	2,5 %	2,7 %
2001	2010	0,0 %	0,7 %	0,7 %
2011	2015	0,0 %	0,0 %	0,7 %
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %
2041	2050	-	-	0,0 %

Tab. 63: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-G nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	1,3 %	1,1 %	1,1 %
1920	1944	0,7 %	0,7 %	0,7 %
1945	1960	0,7 %	0,7 %	0,7 %
1961	1970	0,7 %	0,7 %	0,7 %
1971	1980	3,9 %	3,9 %	3,6 %
1981	1990	1,7 %	1,9 %	2,5 %
1991	2000	1,9 %	2,4 %	2,7 %
2001	2010	0,0 %	0,7 %	1,3 %
2011	2015	0,0 %	0,0 %	0,7 %
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %
2041	2050	-	-	0,0 %

18.2.2 Sanierungsrate Nicht-Wohngebäude

Tab. 64: Äquivalente umfassende Sanierungsrate bei Mischnutzung (Hotel) nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	0,0 %	0,7 %	1,3 %
1920	1944	0,0 %	0,7 %	1,3 %
1945	1960	4,0 %	3,3 %	3,3 %
1961	1970	4,7 %	3,3 %	3,3 %
1971	1980	3,3 %	3,3 %	2,7 %
1981	1990	3,3 %	3,3 %	2,7 %
1991	2000	0,7 %	1,3 %	2,7 %
2001	2010	0,0 %	0,7 %	0,7 %
2011	2015	0,0 %	0,0 %	0,7 %
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %
2041	2050	-	-	0,0 %

Tab. 65: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim Gewerbe nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	2,0 %	2,0 %	2,0 %
1920	1944	2,0 %	2,0 %	2,7 %
1945	1960	2,0 %	2,0 %	2,7 %
1961	1970	2,7 %	2,7 %	2,7 %
1971	1980	1,3 %	2,0 %	2,0 %
1981	1990	0,0 %	0,7 %	0,7 %
1991	2000	0,7 %	0,7 %	1,3 %
2001	2010	0,0 %	0,0 %	0,7 %
2011	2015	0,0 %	0,0 %	0,7 %
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %
2041	2050	-	-	0,0 %

Tab. 66: Äquivalente umfassende Sanierungsrate für Industrie nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	1,3 %	1,3 %	2,0 %
1920	1944	1,3 %	1,3 %	2,0 %
1945	1960	2,0 %	2,0 %	2,0 %
1961	1970	2,0 %	2,0 %	2,0 %
1971	1980	2,0 %	2,0 %	2,0 %
1981	1990	2,0 %	2,0 %	2,0 %
1991	2000	1,3 %	1,3 %	2,0 %
2001	2010	0,0 %	1,3 %	1,3 %
2011	2015	0,0 %	0,0 %	1,3 %
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %
2041	2050	-	-	0,0 %

18.2.3 Austauschrate Szenario 2050

Tab. 67: Angenommene Heizsystem Austauschrate für Wohngebäude und Nicht Wohngebäude.

Bauperiode von bis		Zeitraum Austauschrate		
		2016- 2020	2021-2030	2031-2050
	1919	3.3%	3.7%	3.7%
1920	1944	3.3%	3.7%	3.7%
1945	1960	3.3%	3.7%	3.7%
1961	1970	3.3%	3.7%	3.7%
1971	1980	3.3%	3.7%	3.7%
1981	1990	3.3%	3.8%	3.9%
1991	2000	3.3%	4.2%	3.8%
2001	2010	3.3%	4.9%	4.9%
2011	2015	3.3%	7.0%	7.0%
2016	2020	3.3%	10.0%	10.0%
2021	2030	3.3%	3.3%	3.3%
2031	2040	3.3%	3.3%	3.3%
2041	2050	3.3%	3.3%	3.3%

18.3 Sanierungsrate und Austauschrate Gebäude – Szenario 2040

18.3.1 Sanierungsrate Wohngebäude

Tab. 68: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	4,3%	5,5%	4,0%
1920	1944	2,7%	1,3%	0,7%
1945	1960	1,3%	5,7%	4,0%
1961	1970	1,5%	1,3%	3,3%
1971	1980	2,7%	1,3%	1,3%
1981	1990	0,7%	0,7%	1,3%
1991	2000	1,3%	0,7%	3,9%
2001	2010	0,0%	0,7%	1,3%
2011	2015	0,0%	0,0%	0,7%
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %

Tab. 69: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-K nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	2,8%	6,0%	1,3%
1920	1944	0,7%	1,3%	1,3%
1945	1960	0,7%	6,1%	1,9%
1961	1970	0,7%	0,7%	5,6%
1971	1980	2,4%	1,3%	1,3%
1981	1990	2,4%	1,3%	1,3%
1991	2000	2,4%	0,7%	4,0%
2001	2010	0,0%	0,7%	0,7%
2011	2015	0,0%	0,0%	0,7%
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %

Tab. 70: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-G nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	1,3%	5,3%	4,7%
1920	1944	0,7%	3,7%	0,7%
1945	1960	0,7%	5,3%	4,8%
1961	1970	0,7%	1,3%	4,0%
1971	1980	3,9%	1,3%	2,0%
1981	1990	1,7%	1,3%	0,7%
1991	2000	1,9%	0,7%	3,9%
2001	2010	0,0%	0,7%	0,7%
2011	2015	0,0%	0,0%	0,7%
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %

18.3.2 Sanierungsrate Nicht-Wohngebäude

Tab. 71: Äquivalente umfassende Sanierungsrate bei Mischnutzung (Hotel) nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	0,0 %	4,7%	1,3%
1920	1944	0,0 %	5,1%	1,3%
1945	1960	4,0 %	4,7%	1,3%
1961	1970	4,7 %	4,4%	5,1%
1971	1980	3,3 %	1,3%	5,3%
1981	1990	3,3 %	0,9%	5,9%
1991	2000	0,7 %	0,7%	1,3%
2001	2010	0,0 %	0,7%	0,7%
2011	2015	0,0 %	0,0%	0,7%
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %

Tab. 72: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim Gewerbe nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	2,0 %	4,5%	1,3%
1920	1944	2,0 %	5,1%	1,3%
1945	1960	2,0 %	5,1%	2,7%
1961	1970	2,7 %	4,0%	6,0%
1971	1980	1,3 %	4,7%	5,2%
1981	1990	0,0 %	0,7%	6,5%
1991	2000	0,7 %	0,7%	1,3%
2001	2010	0,0 %	0,0%	0,7%
2011	2015	0,0 %	0,0%	0,7%
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %

Tab. 73: Äquivalente umfassende Sanierungsrate für Industrie nach Bauperiode.

Bauperiode von bis		Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
	1919	1,3 %	4,5%	1,3%
1920	1944	1,3 %	5,2%	2,0%
1945	1960	2,0 %	5,1%	1,3%
1961	1970	2,0 %	3,9%	6,5%
1971	1980	2,0 %	2,7%	5,9%
1981	1990	2,0 %	1,3%	6,5%
1991	2000	1,3 %	0,7%	1,3%
2001	2010	0,0 %	0,7%	0,7%
2011	2015	0,0 %	0,0%	0,7%
2016	2020	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2021	2030	-	0,0 %	0,0 %
2031	2040	-	-	0,0 %

18.3.3 Austauschrate Szenario 2040

Tab. 74: Angenommene Heizsystem Austauschrate für Wohngebäude.

Bauperiode von bis		Zeitraum Austauschrate		
		2016- 2020	2021-2030	2031-2050
	1919	3.3%	5.0%	3.7%
1920	1944	3.3%	3.6%	6.5%
1945	1960	3.3%	4.0%	3.7%
1961	1970	3.3%	4.0%	6.0%
1971	1980	3.3%	3.5%	8.5%
1981	1990	3.3%	3.7%	6.8%
1991	2000	3.3%	6.5%	3.8%
2001	2010	3.3%	4.9%	5.5%
2011	2015	3.3%	7.0%	15.0%
2016	2020	3.3%	10.0%	25.0%
2021	2030	3.3%	3.3%	3.3%
2031	2040	3.3%	3.3%	3.3%
2041	2050	3.3%	3.3%	3.3%

Tab. 75: Angenommene Heizsystem Austauschrate für Nicht Wohngebäude.

Bauperiode von bis		Zeitraum Austauschrate		
		2016- 2020	2021-2030	2031-2050
	1919	3.3%	4.0%	5.5%
1920	1944	3.3%	4.2%	4.9%
1945	1960	3.3%	4.1%	4.9%
1961	1970	3.3%	3.7%	4.5%
1971	1980	3.3%	4.1%	3.8%
1981	1990	3.3%	3.9%	3.8%
1991	2000	3.3%	5.0%	5.5%
2001	2010	3.3%	5.0%	5.0%
2011	2015	3.3%	7.0%	7.2%
2016	2020	3.3%	10.0%	20.0%
2021	2030	3.3%	3.3%	3.3%
2031	2040	3.3%	3.3%	3.3%
2041	2050	3.3%	3.3%	3.3%

18.4 Mobilität

18.4.1 Systemgrenze

In der Nutzenergieanalyse wird die Energiemenge ausgewiesen, die für den Transport (z.B. im Sonstigen Landverkehr) in Tirol bezogen (getankt) wird. Diese beinhaltet damit auch die Energie, die zwar in Tirol bezogen (getankt), aber nicht im Land verfahren wird („Tanktourismus“). In der bisherigen Energiebilanzierung (STATISTIK AUSTRIA 2017) wird nur jene Energie berücksichtigt, die in Tirol bezogen (getankt) wird. In der gegenständlichen Studie wurde dieser Top-Down-Ansatz übernommen, um die Vergleichbarkeit mit den bisherigen Bilanzierungen sicherzustellen.

Aus Sicht der Verkehrsplanung wäre die **Systemgrenze nicht** in dieser Form **territorial, sondern anhand der Mobilitätsbeziehungen zu definieren**. Jeder Weg hat einen Wegezweck, der mit einem Bedürfnis verbunden ist, das in der Regel mit einer Aktivität am Zielort befriedigt wird. Diese Aktivitäten sind in vielen Fällen auch für die Wirtschaft am Zielort relevant (z.B. Einkauf, Tourismus, ...). Dementsprechend müsste der Aufwand (Energieeinsatz) des Weges immer dem Zielort zugerechnet werden.

Abb. 40 veranschaulicht diese Betrachtung. Im Personenverkehr ist die Mobilität der Tiroler Bevölkerung als Binnen-, Ziel- und Quellverkehr ebenso zu berücksichtigen wie der Ziel- und Quellverkehr der Gäste und deren Mobilität in Tirol. Der Durchgangsverkehr (Transit) ist nur einzubeziehen, wenn im Land getankt wird. Ähnlich verhält es sich im Güterverkehr, wo neben dem Binnenverkehr auch die grenzüberschreitende Zulieferung und der Abtransport (Warenimport und -export) zu berücksichtigen sind. Eine Ab-

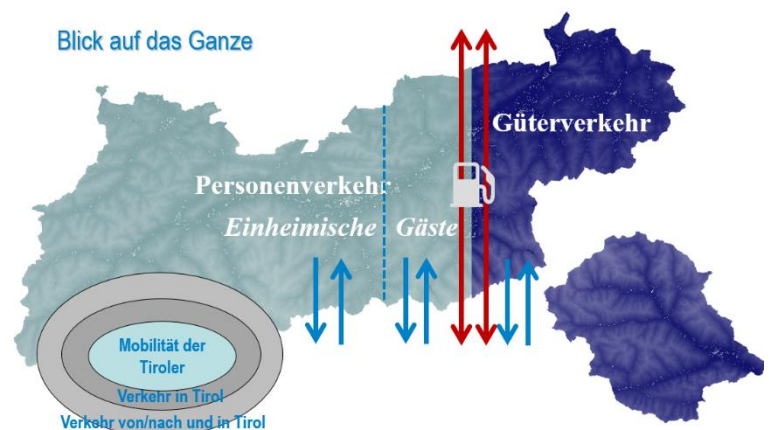


Abb. 40: Mobilitätsbezogene Betrachtung der Systemabgrenzung.

Abgrenzung kann daher mit Fokus auf die Mobilität der Tiroler Bevölkerung, die in Mobilitätserhebungen wie „Österreich Unterwegs 2013/14“ (TOMSCHY et al. 2016) erfasst wird, erfolgen oder mit Fokus auf den Verkehr innerhalb der Tiroler Landesgrenzen (inkl. Verkehr der Gäste, mit Anteilen des Ziel- und Quellverkehrs und des Durchgangsverkehrs), wie dies z.B. in der Studie „Energieautarkie für Österreich“ (STREICHER et al. 2010) gemacht wurde oder mit Ergänzung des Verkehrs, der außerhalb der Landesgrenzen als Ziel- und Quellverkehr mit dem Gesellschafts- und Wirtschaftssystem des Landes in Verbindung steht. Diese weitgefasste Systemabgrenzung wurde in einem alternativ entwickelten Bottom-Up-Ansatz berücksichtigt, der in der ersten Studie zu dem Technologie- und Ressourceneinsatz (EBENBICHLER et al. 2018) im Anhang dargestellt ist. Dieser Ansatz ermöglicht es, Maßnahmen direkt mit dem Verhalten in Verbindung zu bringen und so Handlungs- bzw. Maßnahmenoptionen deutlich zu machen.

Die beiden Abgrenzungen unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Behandlung des grenzüberschreitenden Verkehrs. Ziel- und Quellverkehr von bzw. nach Tirol (z.B. An- und Abreise im Tourismus, Güterimporte und -ex-

porte) bzw. Durchgangsverkehre durch Tirol (z.B. Güter- und Tourismustransit) überqueren die territoriale Systemgrenze. Grundsätzlich stehen Ziel- und Quellverkehr in direkter Verbindung mit dem „Wirtschafts- und Gesellschaftssystem“ Tirol. Durchgangsverkehr beeinflusst dieses jedenfalls über deren Folgewirkungen (z.B. Emissionen, Raumbedarf, ...) und dann, wenn es im Zuge der Durchfahrt zu einer Interaktion (z.B. Einkauf, Bezahlung von Maut, ...) kommt. Im Sinne der bisherigen Energiebilanzierung (Statistik Austria, Energiemonitoring des Landes Tirol) wird nur jene Energie berücksichtigt, die in Tirol bezogen wird. Somit werden der Ziel- und Quellverkehr sowie Durchgangsverkehr durch den Treibstoff berücksichtigt, der von ihnen in Tirol bezogen wird (z.B. Tanktourismus). In einem mobilitätsorientierten Ansatz würden der Energiebedarf von Ziel- und Quellverkehr in einer Relation (der Zielrichtung) und jener des Durchgangsverkehrs nicht berücksichtigt. Wird beim Durchgangsverkehr jedoch gehalten, um eine (wirtschaftliche) Aktivität durchzuführen (z.B. Tanken), entsteht eine Verbindung zum Wirtschaftssystem. Dementsprechend wäre z.B. die im „Tanktourismus“ bezogene Energiemenge zu berücksichtigen.

In dieser Hinsicht ist in der jährlichen Nutzenergieanalyse der Statistik Austria im Bereich der Treibstoffe und vor allem beim Diesel eine wesentliche Unschärfe zu vermuten. Nach einer Änderung der Umlegung des Tanktourismus in der Nutzenergieanalyse auf die Bundesländer sind diese Werte für Tirol deutlich zurückgegangen. Es ist davon auszugehen, dass der Bedarf im Tanktourismus in Tirol mit der aktuellen Methode deutlich unterschätzt wird. Im Bericht „Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050“ (EBENBICHLER et al. 2018) wurde anhand eines Bottom-Up-Ansatzes eine grobe Abschätzung zur Plausibilisierung vorgenommen. Damit wurde für den Tanktourismus mit Bezugsjahr 2016 eine Energiemenge von etwa 19.000 TJ abgeschätzt, die in der aktuellen Statistik nur zu etwa einem Drittel berücksichtigt sein dürfte. Diese Abschätzung scheint auch in Hinblick auf eine in der Zwischenzeit vom Land Tirol durchgeführte Tankstellenbefragung plausibel zu sein. Für die An- und Abreise im Tourismus mit Pkw, welche ca. 80 % der Gäste betrifft, wurde zudem im Bottom-Up-Ansatz eine Energiemenge von 9.000 TJ abgeschätzt, wobei im Sinne der Zuordnung auf den Zielzweck nur eine Fahrtrichtung (Anreise) berücksichtigt wurde. Diese Energiemenge ist in der Energiestatistik, die für das Jahr 2016 insgesamt 30.000 TJ im Mobilitätsbereich ausweist, bisher kaum erfasst, da sie überwiegend im Ausland bezogen (getankt) wird.

Für das Szenario im Jahr 2050 wurde davon ausgegangen, dass bei den dann eingesetzten Technologien der Tanktourismus nur noch eine untergeordnete Rolle spielt (z.B. im on-trip Charging von batterieelektrischen Fahrzeugen auf der Durchreise bzw. Tanken von Wasserstoff von Transit-Lkw), da die aktuellen Preisvorteile beim Tanken in Österreich nicht mehr gegeben sein dürften.

18.4.2 Potenziale Verhaltensänderungen und alternativer Technologieansatz

Der in ersten Studie zum Technologie- und Ressourceneinsatz (EBENBICHLER et al. 2018) im Anhang dargestellte Bottom-Up-Ansatz lässt auch Rückschlüsse zu, wie sich einzelne Maßnahmen auswirken können. Um dies zu demonstrieren, wurde dort beispielhaft das **Einsparungspotenzial von Verhaltensänderungen in der Mobilität der Bevölkerung** ermittelt und in einem Stakeholder-Workshop, der im Rahmen der ersten Studie durchgeführt wurde, präsentiert und diskutiert (Abb. 41).



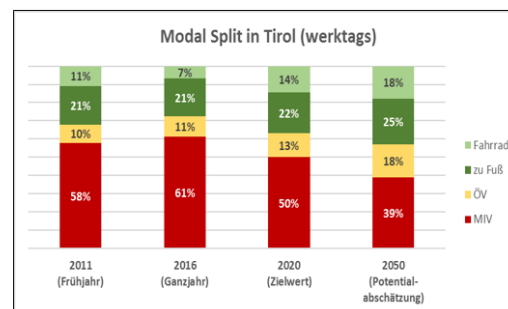
Mobilität Grobrechnung 2016 → 2050 Potentiale Verhaltensänderung MIV



1. **Alle MIV-Wege kürzer als 1 km zu Fuß** (7% der MIV-Wege, 4% aller Wege)
→ 2016: ca. 80 TJ → 2050: ca. 20 TJ
2. **50% der MIV-Wege zwischen 1 und 5 km auf Fahrrad** (37% der MIV-Wege, 22% aller Wege)
→ 2016: ca. 1.000 TJ → 2050: ca. 250 TJ
3. **20% der MIV-Wege über 5 km auf ÖV** (56% der MIV-Wege, 34% aller Wege)
→ 2016: ca. 3.200 TJ → 2050: ca. 800 TJ

Energieeinsparungspotential
Summe 2016 ca. 4.300 TJ
Summe 2050 ca. 1.100 TJ

- +30% Wege zu Fuß
- Verdreifachung Wege mit Rad
- 80% mehr ÖV-Fahrten als 2016
(davon jeweils 11% aus Bevölkerungszuwachs)



Stakeholder-Workshop Ressourcenszenarien Tirol 2050

Folie 66

Abb. 41: Grobabschätzung des Potenzials zur Energieeinsparung durch Verhaltensänderung.

In dieser **Grobabschätzung** wurde zunächst davon ausgegangen, dass alle Wege mit einer Länge unter 1 km mit nicht-motorisierten Verkehrsmitteln (in diesem Fall zu Fuß) zurückgelegt werden. Laut der letzten Mobilitätserhebung waren 7 % der mit dem motorisierten Individualverkehr (MIV) zurückgelegten Wege weniger als 1 km lang, das waren 4 % aller Wege. Bezogen auf 2016 würde diese Verhaltensänderung etwa 80 TJ pro Jahr einsparen, bezogen auf 2050 auf Grund der geringeren spezifischen Verbräuche der Elektromotoren nur noch etwa 20 TJ. Bei den MIV-Wege mit einer Wegelänge zwischen 1 km und 5 km wurde eine Verlagerung von 50 % auf nicht-motorisierte Verkehrsmittel (in diesem Fall auf das Fahrrad) angesetzt. Die Mobilitätserhebung weist 37 % der MIV-Wege in dieser Distanzklasse aus, das sind 22 % aller Wege. Das Einsparungspotenzial beträgt im Jahr 2016 ca. 1.000 TJ, im Jahr 2050 ca. 250 TJ. Zuletzt wurde davon ausgegangen, dass 20 % der MIV-Wege mit einer Distanz über 5 km auf den Öffentlichen Verkehr (ÖV) verlagert werden können. Daraus würde 2016 eine Reduktion um ca. 3.200 TJ und 2050 um ca. 800 TJ resultieren. Das **Gesamtpotenzial aus der Verhaltensänderung** in der Mobilität der Bevölkerung für 2050 liegt unter diesen Annahmen **bei ca. 1.100 TJ**.

Diese Annahmen beschreiben eine **sehr starke Veränderung des Mobilitätsverhaltens**, die eine Reduktion des Anteils der im MIV zurückgelegten Wege von 61 % im Jahr 2016 auf 39 % im Jahr 2050 bedeuten würde. Damit würden bei einer Zunahme der Bevölkerung um 11 % die Anzahl der zu Fuß zurückgelegten Wege um 30 % zunehmen, die Anzahl der mit Fahrrad absolvierten Wege würde sich verdreifachen und die Zahl der Fahrten im ÖV um 80 % steigen. Um die Voraussetzungen für eine derartige Verhaltensänderung zu schaffen, müssten die Angebote, Infrastrukturen und Rahmenbedingungen für das Zufußgehen, Radfahren und den Öffentlichen Verkehr dement-

sprechend massiv verbessert werden. Es ist zudem davon auszugehen, dass zusätzlich zu begleitenden bewusstenbildende Maßnahmen notwendig sind, die neben der Motivation zur Nutzung des Umweltverbunds auch die Akzeptanz von gleichzeitig notwendigen restriktiven Maßnahmen im motorisierten Individualverkehr erhöhen.

Um das Potenzial der Verhaltensänderung ins Verhältnis zu setzen lässt sich bei einer Betrachtung **alternativer Technologieeinsatzes** folgendes festhalten:

- Das grob abgeschätzte Potenzial einer massiven Änderung des Mobilitätsverhaltens der einheimischen Bevölkerung von 1.100 TJ im Jahr. Da der reduzierte Pkw-Verkehr im Szenario für 2050 als rein elektrisch angesetzt ist, entspricht dies der Energie, die mit 2,135 Mio. m² Photovoltaik-Modulen (entspricht etwa 160 Freiflächenanlagen à la Assling) oder mit 50 Windturbinen (à 2,5 MW und 2.500 Volllaststunden) im Jahr gewonnen werden kann.
- In den Szenarien ist eine Aufteilung der Fahrleistung im Schwerverkehr von 70 % Wasserstoff und 30 % direkt elektrisch zugrunde gelegt, die das derzeit als beschränkt eingeschätzte Potenzial von batterieelektrischen Fahrzeugen im Nutzfahrzeugsektor berücksichtigt. Würde dieses Verhältnis auf 70 % direkt elektrisch (z.B. durch die Elektrifizierung der Autobahnen) und 30 % Wasserstoff verändert, ergäbe sich eine Endenergieeinsparung von 358 TJ, was auf Grund der Reduktion der energieintensiven Wasserstoffproduktion einer Energieeinsparung im Strombereich von 1.790 TJ bedeutet (d.h. rund 200 Freiflächenanlagen à la Assling).
- Umgekehrt würde der Einsatz von Wasserstoff im Pkw-Bereich schon bei 10 % Anteil an der Pkw-Fahrleistung den Endenergieeinsatz um 166 TJ erhöhen und damit einen zusätzlichen Strombedarf von 830 TJ bedeuten.

Diese Beispiele verdeutlichen, wie wesentlich die sinnvolle Kombination von Verhaltensänderung und möglichst effizienten Antriebstechnologien ist, da damit der Energiebedarf maßgeblich gesenkt werden kann und so der für die Energieautonomie notwendige Ausbau von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie reduziert werden kann.

Mit den Ergebnissen des **Bottom-Up-Ansatzes** wurden im Rahmen des Stakeholderworkshops die Kernaussagen aus dem Sektor Mobilität in der ersten Studie zum Technologie- und Ressourceneinsatz folgendermaßen ergänzt bzw. formuliert:

- In der aktuellen Energiebilanz ist die Anreise von Gästen nicht und der Tanktourismus nur teilweise berücksichtigt.
- Der Vergleich der Technologieszenarien zeigt:
 - Den niedrigsten Energiebedarf bietet der direkte Stromverbrauch (Strom-Szenario).
 - H₂-Nutzung z.B. bei Nutzfahrzeugen verbessert das Speicherpotenzial, doch der Endenergiebedarf steigt und der Strombedarf steigt stark (Sekundärebene).
 - Der Einsatz von synthetischen Kraftstoffen im Flugverkehr belastet den Strombedarf verhältnismäßig stark (Ausgleich für Herstellung).
- Ohne Verhaltensänderung ist das ursprüngliche Einsparungsziel (-71 %) nicht zu erreichen. Selbst in einem reinen Strom-Szenario wären minus 12 % Nutzenergie/Einwohner (inkl. Güterverkehr) nötig.
- Die Datenlage für Bottom-Up-Ansatz ist schwierig. Annahmen sind notwendig.

- Folgende grobe Abschätzungen/Aussagen können dennoch getroffen werden:
 - Wenn die Anreise im Tourismus berücksichtigt wird, steigt der Energiebedarf um etwa ein Drittel (Strom-Szenario) bzw. es gibt hohen Einsparungsbedarf (Potenziale dafür wären noch zu ermitteln).
 - Sollte die politische Zielsetzung der Beschränkung und Verlagerung des Lkw-Transits nicht erreicht werden, ist mit höherem Energiebedarf zu rechnen bzw. sind stärkere Einsparungen nötig.
 - Ein Anstieg des Energiebedarfs durch Autonomes Fahren wäre problematisch.
 - H₂-Tanktourismus wäre sehr problematisch.





