Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050

Bericht

tirol
Unser Land

Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050

- Endbericht -

Autorinnen und Autoren:

DI Rupert Ebenbichler, Wasser Tirol - Wasserdienstleistungs-GmbH

Dr. Andreas Hertl, Wasser Tirol - Wasserdienstleistungs-GmbH

Prof. Dr. Wolfgang Streicher, Universität Innsbruck - Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen

Daniel Fischer, M.Sc., Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen

DI Claudia Richtfeld, M.Sc., Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen

Prof. Dr. Markus Mailer, Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme

DI Inga Anton, M.Sc., Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme

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

Christoph Pöham, Management Center Innsbruck, Umwelt-, Verfahrens- und Energietechnik

Review:

DI Stephan Oblasser, Energiebeauftragter Land Tirol

15. Oktober 2018

Vorwort

© Land Tirol / Berger

Tirol will bis zum Jahre 2050 energieautonom werden. Bis dahin sollen alle fossilen Energieträger wie Öl, Kohle und Erdgas durch erneuerbare heimische Energieträger ersetzt werden. Dies erfordert einen tiefgreifenden Umbau des Energiesystems, wie wir es heute kennen. Neben einem sparsamen Umgang mit Energie ist vor allem die Energieeffizienz und der Einsatz alternativer Technologien zu erhöhen.

Bisher haben wir uns bei unseren Überlegungen zur Zielerreichung an die Ergebnisse österreichweit aufgestellter Studien gestützt. Da sich Tirol jedoch sowohl geographisch als auch bezüglich der vorherrschenden Wirtschaftsstrukturen und des verfügbaren Energieressourcendargebots teils bedeutend von anderen Bundesländern unterscheidet, haben wir eine speziell auf die Tiroler Verhältnisse zugeschnittene Studie beauftragt. Diese nun vorliegende Studie skizziert, mit Einsatz welcher Technologien und welcher heimischen Ressourcen die Energiewende bei weiter anhaltendem Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum gelingen kann.

Die Ergebnisse zeigen große Herausforderungen, stimmen jedoch trotzdem optimistisch und bestätigen den in den vergangenen Jahren verfolgten Weg. Die Energieautonomie bis 2050 ist technisch bei Ausnutzung aller Energiepotenziale möglich. Das Land verfügt über die notwendigen heimischen Energieressourcen, um den Energiebedarf im Jahressaldo zu decken. Voraussetzung ist aber, dass wir sämtliche verfügbaren Ressourcen nutzen und bestmöglich einsetzen.

Die in Abstimmung mit einem breiten Advisory-Board sowie Stakeholdern diverser Fachrichtungen ausgearbeiteten fünf Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien umfassen drei Grenzwertszenarien (Strom, Wasserstoff und synthetisches Methan) und zeigen die Auswirkungen und notwendigen Schritte im Umbau des Energiesystems. Das Energie-Mix-Szenario berücksichtigt den möglichst ausgeglichenen Einsatz aller heimischen Energieträger.

Erstmals liegen nun belastbare Zahlen für unser Land vor, mit denen wir nun noch konkreter Maßnahmen zur Zielerreichung setzen können. Die Erkenntnisse sind wichtige, fundierte Grundlagen zur Fixierung eines Zielwert-Szenarios, welches den Tiroler Weg in Richtung Energieautonomie darstellen soll. Wie auch immer dieser im Detail aussehen wird, muss stets die Versorgungssicherheit gewährleistet sein, womit sich auch die noch tiefer zu betrachtende Frage der Energiespeicherung zur Überbrückung von Energiedargebots- und - Nachfrageschwankungen stellt.

LH-Stv. Josef GEISLER

Projektdaten:

Kurztitel	Szenarien Tirol 2050
Langtitel	Ressourcen- und Technologieeinsatz-Szenarien Tirol 2050
Auftraggeber	Amt der Tiroler Landesregierung Abteilung Wasser-, Forst- und Energierecht Heiliggeiststr. 7 6020 Innsbruck
Auftragnehmer	Wasser Tirol - Wasserdienstleistungs-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
Projektstart und -dauer	08/2017 – 09/2018
Gegenstand	Im Rahmen der ggst. Studie werden die in Tirol zur Verfügung stehenden nutzbaren heimischen Energieressourcen aufgezeigt und quantifiziert sowie die im Jahre 2050 benötigte Nutzenergie in den Sektoren Mobilität, Produktion und Sonstiges abgeschätzt. Für die Deckung des zukünftigen Energiebedarfs werden fünf Szenarien erstellt, die unter Berücksichtigung einer Sektorkopplung auf verschiedenen Technologieanwendungen basieren, und die hierbei notwendigen Energieressourcen auf verschiedenen Energieebenen quantifiziert. Die Szenarienbetrachtungen geben somit wichtige Entscheidungshilfen für den weiteren strategischen Weg hin zur Energieautonomie Tirol 2050.

INHALT

Seite

1 Abstract 10
2 Veranlassung und Zielsetzung 11
3 Projektkonsortium/ Advisory Board / Stakeholder 12
4 Projekt-Meilensteine 13
5 Begriffsbestimmungen und Methodik 14
5.1 Systemverständnis und Systemgrenze 14
5.2 Energiestufen 15
5.3 Energiepotenziale 17
6 Datenbasis 18
6.1 Projektübergreifende Daten 18
6.2 Nutzbare Energieressourcen 18
6.3 Sektor Mobilität 18
6.4 Sektor Produktion 19
6.5 Sektor Sonstiges 19
7 Ressourcendargebot 20
7.1 Wasserkraft 20
7.2 Sonne – Photovoltaik und Solarthermie 24
7.2.1 Photovoltaik auf Dachflächen 25
7.2.2 Solarthermie auf Dachflächen 26
7.2.3 Dachflächen – Potenziale und Verfügbarkeit 26
7.2.4 Freiflächenanlagen 27
7.3 Biomasse Holz 28
7.4 Biogas 30
7.4.1 Bioabfall und Grünpflanzen 30
7.4.2 Nachwachsende Rohstoffe 31
7.4.3 Wirtschaftsdünger 32
7.4.4 Klärgas 34
7.5 Umweltwärme 35
7.5.1 Grundwasser 35
7.5.2 Erdwärme 37
7.5.3 Luftwärme 38
7.6 Tiefengeothermie 38
7.7 Wind 39
7.8 Abfälle 40
7.9 Zusammenfassung Ressourcen 43
8 Energiesystem 2016 44
8.1 Sektor Mobilität 44
8.2 Sektor Produktion 45

8.3 Sektor Sonstiges 50
8.4 Gesamtbetrachtung 2016 53
9 Betrachtete Szenarien 2050 55
9.1 Szenario I - „Strom-Szenario“ 55
9.2 Szenario II - „Wasserstoff-Szenario“ 56
9.3 Szenario III - „Methan-Szenario“ 57
9.4 Szenario IIIa – “adaptiertes Methan-Szenario“ 58
9.5 Szenario IV – „Energiemix-Szenario“ 58
10 Energiesystem 2050 – Methodik und Annahmen 59
10.1 Wirkungsgrade und Verteilverluste Sekundär- bis Endenergie 60
10.1.1 Übersicht der Umwandlungstechnologien 60
10.1.2 Power-to-Gas: Wasserstoff 61
10.1.3 Power-to-Gas: Methan 62
10.1.4 Ausgleichslieferungen Importe 63
10.2 Sektor Mobilität inkl. Wirkungsgrade 63
10.3 Sektor Produktion inkl. Wirkungsgrade 67
10.3.1 Allgemeine Annahmen 67
10.3.2 Spezielle Annahmen in den Szenarios 68
10.4 Sektor Sonstiges inkl. Wirkungsgrade 70
11 Energiesystem 2050 – Ergebnisse 75
11.1 Szenario I – „Strom-Szenario“ / Flussbild 76
11.2 Szenario II – „Wasserstoff-Szenario“ / Flussbild 78
11.3 Szenario III – „Methan-Szenario“ / Flussbild 81
11.4 Szenario IIIa – „adaptiertes Methan-Szenario“ / Flussbild 84
11.5 Szenario IV – „Energiemix“ / Flussbild 87
11.6 Szenarien-Vergleich 90
11.6.1 Energiesysteme der Szenarien - gesamt 90
11.6.2 Sektor Mobilität 94
11.6.3 Sektor Produktion 96
11.6.4 Sektor Sonstiges 97
12 Zusammenfassung 99
13 Abbildungsverzeichnis 103
14 Tabellenverzeichnis 105
15 Literaturverzeichnis 109
16 Anhang 113
16.1 Sektor Mobilität 113
16.2 Sektor Produktion 127
16.3 Sektor Sonstiges 150
16.4 Detail-Flussbilder der Szenarien 217

1 ABSTRACT

Das Land Tirol will bis zum Jahr 2050 im Jahressaldo energieautonom werden. Hierzu ist das Energiesystem in den nächsten Jahrzehnten derart umzubauen, dass derzeit eingesetzte fossile Energieträger vollständig durch erneuerbare – vorzugsweise heimische – Energieträger ersetzt werden.
Im Rahmen der ggst. Studie wurde untersucht, welche heimischen nutzbaren Energieressourcen für den Umbau des Energiesystems zur Verfügung stehen, welcher Energiebedarf im Jahr 2050 bestehen wird und welche Auswirkungen der Einsatz bestimmter Technologien auf das Energiesystem bzw. die benötigten Energiemengen im Jahr 2050 auf den verschiedenen Energieebenen von der Nutzenergie über die Endenergie bis hin zur Sekundärenergie im Bereich des Umwandlungssektors haben wird.

Datenbasis bildeten in erster Linie die Bundesländerenergiebilanzen Tirol 2016 sowie die Nutzenergieanalyse 2016 der Statistik Austria. Ergänzend hierzu wurden in die Studie diverse Veröffentlichungen und Abhandlungen einbezogen sowie Experten verschiedener Fachrichtungen eingebunden. (Zwischen-)Ergebnisse wurden vor einem Advisory Board sowie diversen Stakeholdern vorgestellt.

Insgesamt wurden neben der Darstellung des Ist-Standes 2016 vier Grenzwertszenarien sowie ein Energiemix-Szenario erstellt. Die Grenzwertszenarien beleuchteten die Auswirkungen auf das Energiesystem im Jahressaldo, wenn sich die zukünftige Bedarfsdeckung vor allem auf Strom, Wasserstoff oder Methan stützt. Das Energiemix-Szenario beinhaltet sowohl Strom als auch Wasserstoff und Methan in der Bedarfsdeckung, wodurch jedem Energieträger auch zukünftig eine gewisse eigene Rolle zukommen wird. Eine Betrachtung notwendiger Speichertechnologien zur Verlagerung des Energiedargebots vom Sommer in den Winter mit dem Hauptenergiebedarf muss Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Insgesamt zeigt sich, dass die erneuerbaren Ressourcen in Tirol theoretisch ausreichend zur Verfügung stehen, um den Bedarf im Jahr 2050 decken zu können – die Möglichkeit derer Nutzung wird wesentlich von den Rahmenbedingungen und der Akzeptanz abhängen. Alle betrachteten Szenarien zeigen, dass dem Strom zukünftig die wesentliche Rolle zukommen wird und dass der Ausbau der Stromerzeugung absolut notwendig ist. Dafür ist es erforderlich, das deklarierte Wasserkraftausbauziel 2036 zu erreichen und das ohnehin eingeschränkte Windpotenzial möglichst auszuschöpfen und nahezu alle nutzbaren Dachflächen mit Photovoltaik-Modulen zu bestücken sowie ggfs. ergänzend Freiflächen-Photovoltaikanlagen zu errichten. Die zukünftige Wärmeversorgung wird im häuslichen Bereich v.a. mittels Wärmepumpentechnologie erfolgen. Die Biomasse – die Ressource Holz sowie das Biogas – spielt auch zukünftig eine Rolle in der Energiebedarfsdeckung. Gasnetze werden je nach Szenario in unterschiedlichem Umfang weiterhin betrieben, wobei die Erzeugung von Methan und Wasserstoff aufgrund der Wirkungsgrade die benötigten Strommengen auf Sekundärenergieebene stark in die Höhe treibt. Gerade wenn viel Wasserstoff und Methan notwendig wird, erscheinen die Szenarien aufgrund der umfangreich notwendigen Photovoltaik-Freiflächenanlagen kaum umsetzbar.

2 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG

Das Land Tirol hat sich in Übereinstimmung mit europäischen und österreichischen Vorgaben zum Ziel gesetzt, bis zum Jahre 2050 energieautonom zu werden und im Jahressaldo die im Lande benötigte Energie durch heimische, erneuerbare Energieträger selbst zu decken. Um aufzuzeigen, wie dieses Ziel erreicht werden kann, wurde das Projekt „Ressourcen- und Technologieeinsatzszenarien Tirol 2050“ vom Land Tirol beauftragt.

Bisherige Überlegungen berücksichtigten meist nur einzelne Sektoren oder Energieressourcen, ließen jedoch eine gesamthafte Betrachtung vermissen und betrachteten kaum gegebene sektorale Wechselwirkungen und Synergien (Sektorkopplung). Für eine gesamthafte Betrachtung sind den Ressourcen auch Nachfrageszenarien gegenüberzustellen, mit denen auf Basis aktueller Bedarfswerte bzw. -muster auch Effizienzsteigerungspotenziale durch den Einsatz unterschiedlicher Technologien ermittelt werden.

Im Rahmen des gegenständlichen Projektes werden in Anlehnung an die Österreich-Studie des Jahres 2010 ‚Energieautarkie für Österreich 2050‘ (STREICHER et al. 2010) konkrete Energie-Szenarien für 2050 entwickelt. Dabei werden die zur Verfügung stehenden heimischen Ressourcen quantifiziert werden und den ausgearbeiteten Bedarfsszenarien für 2050 gegenübergestellt werden. Auf diese Art soll dargestellt werden, wie mit heutigen sowie absehbaren zukünftigen technologischen Möglichkeiten eine Bedarfsdeckung in Übereinstimmung mit den vorgegebenen Rahmenbedingungen Europas, Österreichs und sonstigen Tiroler Rahmenbedingungen erfolgen kann. Aufgrund der Tiroler Spezifika (v.a. klimatische und geomorphologische Besonderheiten) wurde davon ausgegangen, dass sich die Tiroler Ergebnisse bedeutend von denen der österreichweiten Studie unterscheiden werden.

Seitens des Landes Tirol wurde am 23.08.2017 ggst. Projektkonsortium mit der Erstellung der „Ressourcen- und Technologieeinsatzszenarien Tirol 2050“ beauftragt.

Die Studie soll eine aufzeigen, welche Ressourcen auf welche Art und Weise und in welchem Umfang am Umbau des Energiesystems beteiligt und welche Pfade in den Nachfragesektoren verfolgt werden sollen – jeweils unter Berücksichtigung der politisch und gesellschaftlich akzeptierten Verfügbarkeit und Nutzbarkeit der Ressourcen und Technologien. Sie soll so als Grundlage für zukünftige energiestrategische Entscheidungen des Landes Tirol dienen.

3 PROJEKTKONSORTIUM/ ADVISORY BOARD / STAKEHOLDER

Projektkonsortium

- Wasser Tirol - Wasserdienstleistungs-GmbH (Projektmanagement, Ressourcendargebot und Energiepotenziale, Energieflussbilder)
- Univ. Innsbruck, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen (Energiebedarf Sektor Sonstiges).
- Univ. Innsbruck, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme (Energiebedarf Sektor Mobilität)
- Management Center Innsbruck (MCI), Department Umwelt, Verfahrens- und Energietechnik (Energiebedarf Sektor Produktion).

Advisory Board

- Land Tirol
- Stadt Innsbruck
- Energie Tirol
- Arbeiterkammer Tirol (AK Tirol)
- Wirtschaftskammer Tirol (WK Tirol)
- Management Center Innsbruck Internationale Hochschule GmbH (MCI)

Zusätzlich einbezogene Stakeholder:

- Arbeiterkammer Tirol
- Abwasserverband Zirl und Umgebung
- Energie Tirol
- Energie West GmbH
- Innsbrucker Kommunalbetriebe AG (IKB)
- Innsbrucker Verkehrsbetriebe und Stubaitalbahn GmbH (IVB)
- Industriellenvereinigung Tirol (IV-Tirol)
- Kammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten
- Land Tirol
- Neue Heimat Tirol, Gemeinnützige WohnungsGmbH (NH Tirol)
- Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)
- Stadt Innsbruck
- Stadtwärme Lienz Produktions- und Vertriebs-GmbH
- Standortagentur Tirol
- TIGAS-Erdgas Tirol GmbH
- Tiroler Flughafenbetriebsges. m.b.H
- Tirol Werbung
- TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG
- VERBUND Hydro Power GmbH
- Verkehrsverbund Tirol GesmbH (VVT)
- Wirtschaftskammer Tirol (WK Tirol)

4 PROJEKT-MEILENSTEINE

Die Projektbearbeitung erfolgte durch die vier projektbeteiligten Partner unter frühzeitiger, fortwährender Einbindung von Experten verschiedener Fachrichtungen. Dem Projektkonsortium stand beratend ein Advisory Board zur Verfügung, mit dem je nach Projektfortschritt die wesentlichen Festlegungen und Erkenntnisse diskutiert wurden und dessen Mitglieder ihre Anmerkungen und Überlegungen in die Studie einbringen konnten. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse in Stakeholder-Workshops präsentiert und diskutiert. Dabei waren zahlreiche Experten aus den verschiedensten betroffenen Branchen und Interessensvertreter bis hin zu politischen Entscheidungsträgern vertreten.
Tab. 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Workshops und Termine.

Tab. 1: Übersicht über Projektmeilensteine und eine Auswahl von Workshops und Terminen.

Datum	Meilenstein
23.08.18	Auftragserteilung an das Konsortium
21.09.17	Kick-Off-Termin
03.11.17	Dargebot Biomasse Holz – AdTLR, Abt. Waldschutz
27.11.17	Workshop Advisory Board 01
15.01.18	Sektor Sonstiges: Workshop Gebäude
17.01.18	Dargebot Wirtschaftsdünger – Landwirtschaftskammer Tirol
22.01.18	Stakeholder-Workshop Sektor Produktion
24.01.18	Stakeholder-Workshop Dargebot Wasserkraft
26.01.18	Stakeholder-Workshop Sektor Mobilität
13.02.18	Dargebot Wasserkraft – TIWAG
22.02.18	Dargebot Wasserkraft – TIWAG
09.03.18	Workshop Advisory Board 02
27.03.18	Dargebot Wasserkraft – TIWAG
04.05.18	Workshop Advisory Board 03
07.06.18	Workshop Advisory Board 04
19.06.18	Projektvorstellung LH-Stv. Geisler
25.06.18	Stakeholder-Workshop
25.07.18	Dargebot Wasserkraft – TIWAG
09.08.18	Workshop Advisory Board 05

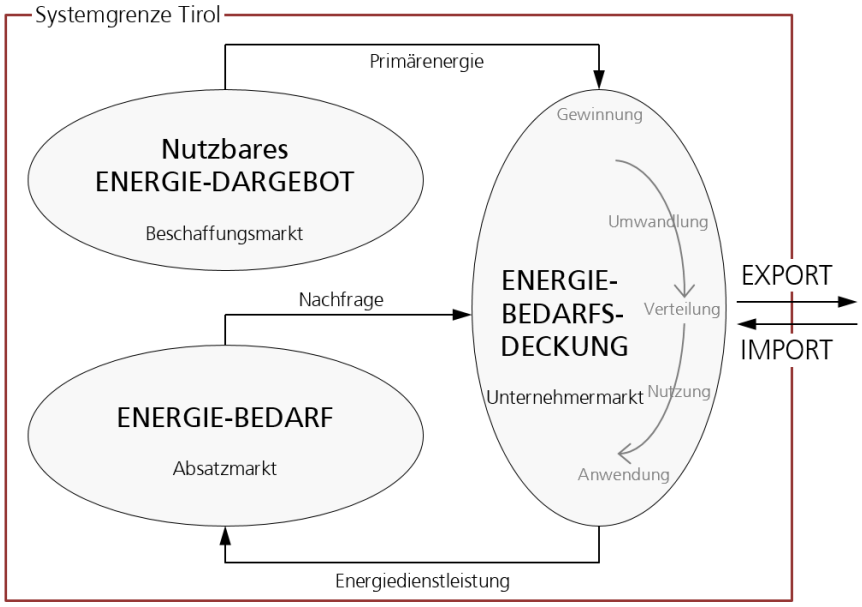
5 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN UND METHODIK

5.1 Systemverständnis und Systemgrenze

Die der ggst. Studie zugrunde liegende quantitative und energieträgerbasierte Analyse der Energieflüsse nach FLEISCHHACKER (1994) sowie deren definitionsreine begriffliche Zuordnung ermöglichen eine transparente Darstellung von Zusammenhängen und Prozessabläufen im Tiroler Energiesystem. Der gewählte Systemansatz 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 „Ressourcen- und Technologieeinsatzszenarien Tirol 2050“.

Als Systemgrenze wurde die Landesgrenze Tirols definiert. Die außerhalb Tirols gelegenen nutzbaren Energieressourcen, -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“ findet in der ggst. Studie jedoch 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 nur jene Energie berücksichtigt, die in Tirol bezogen (getankt) wird. Eine Betrachtung, welche die Systemgrenze im Sinne der Mobilitätsbeziehungen erweitert, findet sich im Anhang (Kap. 16.1).

5.2 Energiestufen

5.2.1 Primärenergie

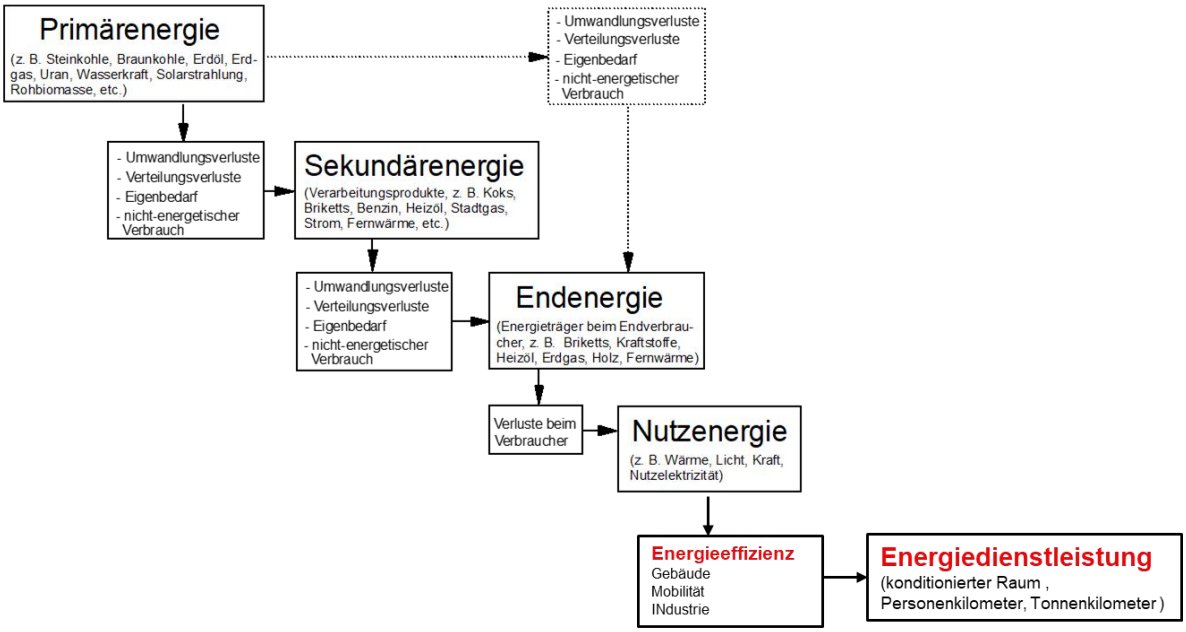
Unter Primärenergie wird der Energieinhalt von Primärenergieträgern (gleich Stoffe) und „primären“ Energieströmen verstanden, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden. Aus Primärenergie (z.B. Windkraft, Solarstrahlung) oder –Primärenergieträgern (z.B. Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Biomasse) können direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen Sekundärenergie oder –träger gewonnen werden.

5.2.2 Sekundärenergie

Als Sekundärenergie wird der Energieinhalt von Sekundärenergieträgern oder der von Energieströmen, die direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen in technischen Anlagen aus Primär- oder aus anderen Sekundärenergieträgern bzw. -energien hergestellt werden (z. B. Fernwärme, Benzin, Heizöl, elektrische Energie). Dabei fallen u. a. Umwandlungs- und Verteilungsverluste an. Sekundärenergieträger bzw. Sekundärenergie stehen Verbrauchern zur Umwandlung in andere Sekundär- oder Endenergieträger bzw. -energien zur Verfügung.

5.2.3 Endenergie

Unter Endenergie wird der Energieinhalt von Endenergieträgern (Stoffe) bzw. der entsprechenden Energieströme verstanden, die der Endverbraucher bezieht (z. B. Heizöl im Öltank des Endverbrauchers, Holzhackschnitzel vor der Feuerungsanlage, Fernwärme an der Hausübergabestation). Endenergie resultiert aus Sekundär- oder ggfs. Primärenergieträgern bzw. Primärenergien – vermindert um Umwandlungs- und Verteilungsverluste, den Eigenbedarf und den nicht energetischen Bedarf. Endenergie steht für die Umwandlung in Nutzenergie zur Verfügung.



Quelle: KALTSCHMITT et al. (2013).

Abb. 2: Die Energiekette und ihre Begriffe.

5.2.4 Nutzenergie

Nutzenergie bezeichnet die 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 gewonnen aus Endenergieträgern bzw. der Endenergie – 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).

5.2.5 Energiedienstleistung

Unter Energiedienstleistung wird der eigentliche Nutzen der Energie verstanden. Bezogen auf Gebäude bezeichnet man damit 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[1] z.B. den Transport von Personen oder

1 Der (Körper-)Energieverbrauch im nicht-motorisierten Verkehr bzw. der aktiven Verkehrsarten (Gehen, Radfahren, ...) bzw. die Nahrung als Energiequelle, welche die aktive Mobilität ermöglicht, werden in dieser Studie nicht betrachtet.

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 Mobilitätsbedürfnisse.

5.3 Energiepotenziale

5.3.1 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. 2009).

5.3.2 Nutzbares Potenzial

Im Rahmen der ggst. 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 Energie-Potenzial 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 ggst. 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 sich abzeichnende Nutzungskonflikte zwischen Lebensmittelproduzenten und Biogasanlagenbetreibern bezüglich der Nutzung der knappen Ackerflächen.

Die bei der Ausweisung des nutzbaren Potenzials der heimischen Ressourcen angesetzten beschränkenden Rahmenbedingungen sind den Ausführungen der jeweiligen Ressourcen zu entnehmen.

6 DATENBASIS

6.1 Projektübergreifende Daten

- Energie-Systemverständnis (OBLASSER et al. 1993, FLEISCHHACKER 1994)
- Regionale Bundesländerenergiebilanz Tirol 1988-2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017)
- Nutzenergieanalyse Tirol 1988-2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017)
- Erneuerbare Energien, Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte (KALTSCHMITT et al. 2013)
- Bevölkerungszahlen (STATISTIK AUSTRIA 2017, STATISTIK AUSTRIA 2016, ÖROK 2015)
- 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)

6.2 Nutzbare Energieressourcen

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

6.3 Sektor Mobilität

- Statistische Daten zur Entwicklung der Motorisierung und Fahrleistungen: Energieeinsatz der Haushalte (Mikrozensus 2015/2016) - Fahrleistungen und Treibstoffeinsatz privater Pkw. Ergebnisse für Tirol (STATISTIK AUSTRIA 2017)
- Fahrleistungen von Linien- und Flächenverkehr in Tirol: Datenquelle Verkehrsmodell Tirol (2016), Datenbasis 2005, zitiert im Tiroler Energiemonitoring-Bericht 2016 (ADTLR 2017)
- Nachhaltigkeitsbericht 2017 des Flughafens Innsbruck (TIROLER FLUGHAFENBETRIEBS-GMBH 2017)
- Zusätzliche Daten für eine „Bottom-Up-Betrachtung“ siehe Anhang (Kap. 16.1)

6.4 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)
- Diverse persönliche Gespräche mit Energiebeauftragten Tiroler Großunternehmen (z.B. Sandoz, GE Jenbacher, Swarovski, Donau Chemie, Swietelsky, etc.)

6.5 Sektor Sonstiges

- 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)
- 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 (WKO 2017).
- Zahlen, Daten, Fakten zu Wohnungspolitik und Wohnungswirtschaft in Österreich (OBERHUBER et al. 2014).

7 RESSOURCENDARGEBOT

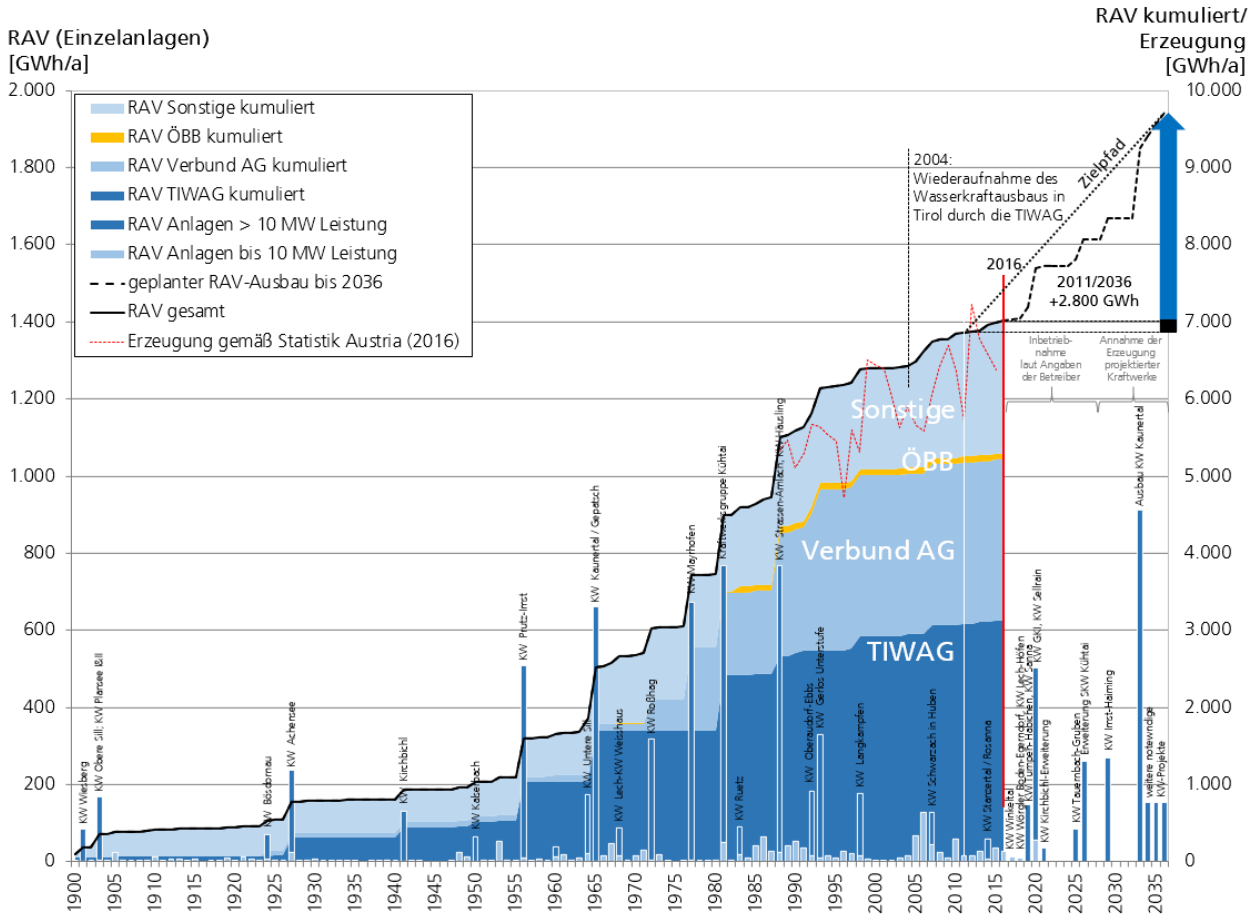
Die Betrachtung der nutzbaren Energiepotenziale erfolgt im Rahmen der ggst. Studie grundsätzlich im Jahressaldo, wobei für Interpretationen und nachfolgende Maßnahmenableitung beachtet werden muss, dass das nutzbare Potenzial v.a. der solaren Einstrahlung – Photovoltaik und Solarthermie – sowie der Wasserkraft große Schwankungen im Monats-, aber auch Tagesgang aufweist. Das nutzbare Wasserkraftpotenzial ist in den Sommermonaten am höchsten, in den Wintermonaten aufgrund der Bindung der Niederschläge in Form von Schnee und damit der zur Verfügung stehenden Abflüsse am geringsten. Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke ‚glätten' diese Erzeugungskurve gegenwärtig. Bei der solaren Einstrahlung und somit der Stromerzeugung mittels Photovoltaikanlagen und Wärmeerzeugung mittels solarthermischen Anlagen ist der Unterschied zwischen geringer Erzeugung im Winter sowie hoher Erzeugung im Sommer noch wesentlich ausgeprägter. Demgegenüber stehen auf der Nachfrageseite hohe Bedarfe im Winter und geringere Bedarfe im Sommer.
Da die Betrachtung des Energiedargebots sowie des Energiebedarfs im Rahmen der ggst. Studie auf Basis von Jahressaldi erfolgt, müssen Schlussfolgerungen für notwendige Speicherkapazitäten in eigenen, der ggst. Studie nachgelagerten Studien ausgearbeitet werden. Dabei müssen Antworten gefunden werden, wie der Energieüberschuss von den Sommermonaten in die Wintermonate verlagert werden kann und welche Speichermedien hierfür bestmöglich geeignet erscheinen.

7.1 Wasserkraft

Wasserkraft ist die wichtigste Energieressource Tirols und wird dies auch zukünftig bleiben. Mit mehr als 3.000 GWh entfallen auf die TIWAG-Kraftwerke knapp 50 % des Regelarbeitsvermögens der Tiroler Wasserkraftwerke. Auf die Verbund AG entfallen mit rund 2.000 GWh rund 30 % des Regelarbeitsvermögens. Der Rest entfällt ganz überwiegend auf Kleinwasserkraftwerke in vorzugsweise privater oder gemeindlicher Hand (ADTLR 2017).
Da u.a. sowohl Kraftwerke der Verbund AG als auch der TIWAG vertraglich Strom aus Tirol exportieren, steht derzeit der in Tirol erzeugte Strom dem Tiroler Strommarkt nicht vollständig zur Verfügung. Darüber hinaus gibt es auch Gebiete in Osttirol und im Bezirk Landeck, aus denen Wasser in benachbarte Bundesländer übergeleitet und dort verstromt wird. Diese Stromerzeugungen werden derzeit nicht in der Tiroler Statistik vermerkt. Da sich diese bilanziellen Verschiebungen bis zum Jahr 2050 ändern können, wurde im Rahmen des Advisory Boards sowie der Stakeholder-Workshops festgelegt, in ggst. Studie den physikalisch in Tirol erzeugten Strom vorbehaltlich eventueller vertraglicher Exporte zu betrachten.

Die vom Tiroler Landtag mit Entschluss vom 16.03.2011 beschlossene Wasserkraftausbauoffensive sieht vor, die Erzeugung aus Wasserkraft in Tirol bis zum Jahr 2036 im Saldo um 2.800 GWh bzw. 10.080 TJ gegenüber der Erzeugung des Jahres 2011 auszubauen (ADTLR 2011, 2011). Hierzu sollen einerseits Was-

serkraftwerke neu errichtet, andererseits bestehende revitalisiert werden. Hierzu wurden im Regierungsprogramm für Tirol 2018 – 2023 zum Teil die Kraftwerksprojekte genannt, die zur Zielerreichung maßgeblich beitragen sollen (PLATTER et al. 2018). Großwasserkraftwerke sollen rund 7.200 TJ, Regionalwasserkraftwerke rund 1.800 TJ und Kleinwasserkraftwerke rund 1.080 TJ beisteuern. Die Entwicklung des Wasserkraftausbaus sowie der Zielpfad zur Erreichung des Wasserkraftausbauziels 2036 sind Abb. 3 zu entnehmen.



Quelle: ADTLR (2017).

Abb. 3: Entwicklung des Tiroler Wasserkraftausbaus und Zielpfad bis zum Jahr 2036.

Die Wasserkraftausbauoffensive fußt dabei auf der Wasserkraftpotenzialstudie Tirols (ADTLR 2011), die das technisch-wirtschaftliche Potenzial des noch nicht ausgebauten Wasserkraftpotenzials im Gewässernetz Tirols unter Beachtung einer Schranke für maximale spezifische Investitionskosten sowie einer Mindestgröße von Wasserkraftwerken (2 MW) mit rund 7.000 GWh ausgewiesen hat. Laut ADTLR (2011) sollen hiervon 40 % durch Kraftwerksneubau und -revitalisierung gehoben werden.

Der angestrebte Wasserkraftausbau erscheint ambitioniert. Einerseits stehen derzeit verschiedene Gewässerabschnitte bezüglich einer weiteren zukünftigen Wasserkraftnutzung in Diskussion (u.a. Osttirol – Natura-2000-Ausweisung) oder wurden bereits beschlossen (z.B. freie Fließstrecke Inn zwischen Haiming und Rotholz (ARORA 2018)), andererseits erschweren die aktuellen Rahmenbedingungen wie z.B. der geringe Strommarktpreis die Revitalisierung sowie den Neubau von Kraftwerken. Darüber hinaus sind am bestehenden Kraftwerkspark in den überwiegenden Fällen Anpassungen im Zuge der Umsetzung der EU-Wasserrahmen-Richtlinie bis spätestens 2027 umzusetzen. Die TIWAG hat bereits 2014 die erwarteten Erzeugungseinbußen bei ihren bestehenden Anlagen abgeschätzt und mit rund 1.800 TJ beziffert (TIWAG 2014). Gegenwärtig geht sie von Einbußen in Höhe von rund 1.220 TJ bzw. 11 bis 12 % der Erzeugung aus. Das Land Tirol rechnet mit Erzeugungseinbußen in Höhe von 5 bis 8 % (Mitt. Mag. Murrer, 22.02.2018).

Unbeachtet energiewirtschaftlicher Überlegungen einer optimalen Anlagenbetriebsführung soll sich im ggst. Projekt das ausgewiesene nutzbare Wasserkraftpotenzial an dem seitens der Landesregierung beschlossenen Wasserkraftausbauziel 2011 – 2036 orientieren, wobei individuelle energiewirtschaftliche Überlegungen zur optimalen Anlagenbetriebsführung nicht berücksichtigt werden. Bei einer Wasserkraft-Erzeugung 2011 im Ausmaß von 20.600 TJ (STATISTIK AUSTRIA 2017) bei einem Regelarbeitsvermögen von 20.880 TJ wurde das nutzbare Potenzial mit 30.600 TJ abgeschätzt. Das heißt, es wird von einem Erzeugungsausbau um 10.000 TJ bis 2036 (und somit 2050) ausgegangen plus einem weiteren Ausbau der Wasserkraft in Höhe der anfallenden Erzeugungsverluste durch die Umsetzung der EU-WRRL oder sonstiger Betriebseinstellungen.

Ergänzende Überlegungen zur Wasserkraft:
Oberstes Ziel der Energieversorger Tirols ist, die Versorgungssicherheit des Landes sicherzustellen. Derzeit erzeugen die Wasserkraftwerke Tirols im Winter zu wenig Strom, um die Nachfrage zu decken. Im Sommer dagegen wird zu viel Strom erzeugt (Abb. 4). Über die Anbindung an das europäische Stromnetz werden die Über- und Unterdeckungen durch Stromexporte und -importe ausgeglichen. Im Jahre 2016 hielten sich gemäß STATISTIK AUSTRIA (2017) die Stromimporte nach und die Stromexporte aus Tirol in etwa die Waage (28.982 TJ Importe; 29.429 TJ Exporte).
Durch die Pumpspeicherkraftwerke des Verbunds und der TIWAG werden – zusätzlich zur Erzeugung aus dem natürlichen Abfluss – derzeit etwa 3.000 TJ/a Strom erzeugt, wofür rund 4.000 TJ/a für den Pumpbetrieb benötigt werden.

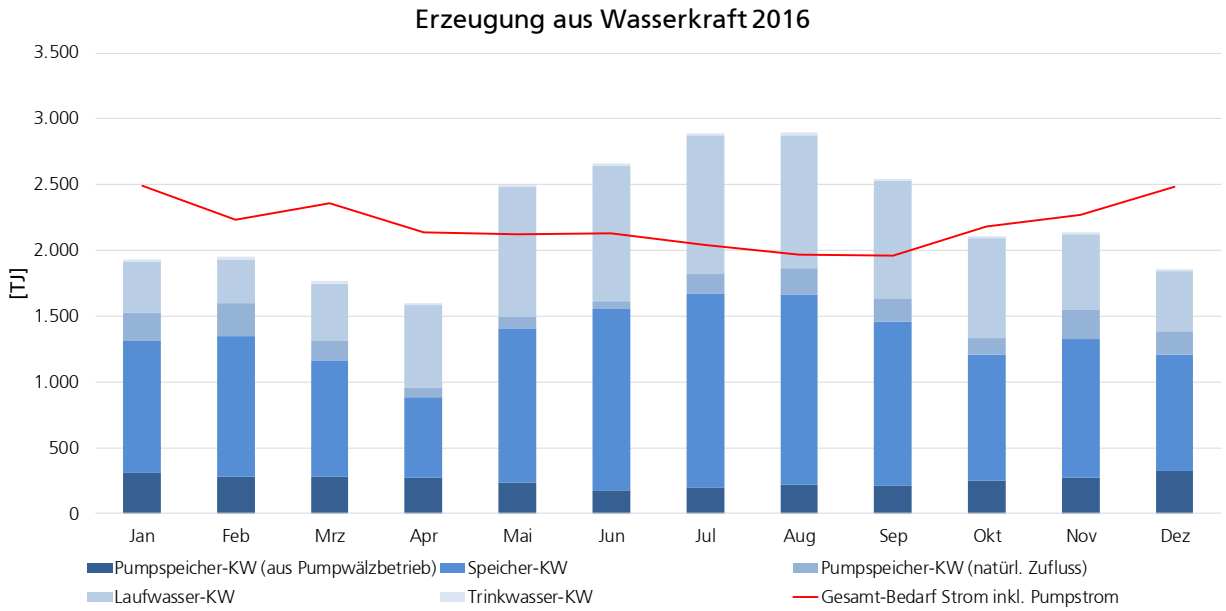


Abb. 4: Erzeugter Strom aus Wasserkraft sowie Gesamtstrombedarf Tirols 2016.

Für die Zukunft wird die Frage der Versorgungssicherheit bei weiterem Ausbau von Stromerzeugungsanlagen zur Gewinnung volatilen Stroms zunehmend bedeutend. Dunkelflauten – besser: Winter- und Windflauten – werden Zeitspannen genannt, zu denen aufgrund starker Bewölkung und gleichzeitig geringen Windstärken die Stromerzeugung aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen nahezu zum Erliegen kommt. Eine Versorgung zur Deckung des winterlichen Tiroler Strombedarfs aus dem benachbarten Ausland (v.a. aus Deutschland) ist zukünftig gegebenenfalls bei Winter- und Windflauten aufgrund der Entwicklung der Energieversorgungsinfrastruktur in Deutschland mit u.a. dem starken Ausbau von Photovoltaik- und Windkraftanlagen nicht sichergestellt wie gegenwärtig, da der in Deutschland erzeugte Strom vermutlich vorrangig für den deutschen Bedarf zur Verfügung gestellt werden wird.

Die effizienteste Lösungsmöglichkeit besteht nach Ansicht von Experten in der Errichtung von Speicherkraftwerken, wobei diese derart ausgelegt sein müssen, dass die Speicherinhalte die Tiroler Strom-Versorgung über einen Zeitraum von rund sechs Wochen sicherstellen müssen. Hierzu würden neben Saisonspeichern auch Pumpspeicher im großen Stil benötigt. In Zeiten temporärer Überproduktion könnten die Speicher durch – auch inländischen – Überschussstrom gefüllt und während Winter- und Windflauten durch Ablassen des Wassers aus den Speichern Strom erzeugt werden.
Auch wenn Pumpspeicherkraftwerke die Energiebilanz im Jahressaldo verschlechtern, sind sie für den Ausgleich von Strom-Überschuss und Strom-Bedarfslücken sowie zur zukünftigen Überbrückung von Winter- und Windflauten nach Einschätzung von Experten absolut notwendig. Batteriespeicher sind für derartige Aufgaben aus heutiger Sicht nicht geeignet und die Speicherung von Energie über synthetische Gase weist einen bedeutend schlechteren Wirkungsgrad auf.

Um dem Problem der volatilen Energieerzeugung zu begegnen, stehen u.a. folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Errichtung mehrerer Wasserspeicher unterschiedlicher Dimension mit Speicherkapazitäten über die Dauer von mehr als einem Monat für Sicherstellung der Versorgungssicherheit
- Schaffung einer Power-to-Gas-Infrastruktur mit Speichermöglichkeit (Methan, Wasserstoff) zur Energiespeicherung und Sektorkopplung.

7.2 Sonne – Photovoltaik und Solarthermie

Die Zusammensetzung des Sonnenspektrums, die Sonnenscheindauer und der Winkel, unter welchem die Sonnenstrahlen auf die Oberfläche fallen, beeinflussen die eingestrahlte Energiemenge auf die Erde. Die Energiepotenziale unterscheiden sich daher nicht nur infolge der Höhenlage oder durch das Ausmaß an Bewölkung, auch auf engstem Raum finden sich deutliche Abstufungen wie etwa bei Verschattung durch Vegetation und Gebäude. Auf Grundlage von hochauflösenden Oberflächenmodellen wurden im Rahmen der Erstellung der Solarpotenzialstudie Tirol die theoretischen Strahlungswerte für jeden Quadratmeter der Tiroler Erdoberfläche unter Berücksichtigung von Exposition und Neigung sowie Verschattung durch Objekte im Fern- (Relief) und Nahbereich (Vegetation, Bebauung) berechnet. Die atmosphärische Korrektur dieser Werte erfolgte mittels einer kleinräumigen Zeitreihe von Bewölkungsdaten aus Satellitenbeobachtung (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2015).
Im Rahmen der gegenständlichen Studie wurden Einstrahlungswerte sämtlicher in der Solarpotenzialstudie Tirol ausgewiesenen Dachflächen analysiert. Durch Aufständerungen von Solarmodulen auf den ausgewiesenen Dachflächen lassen sich u.U. die zu erzielenden Strom- und Wärme-Erträge weiter erhöhen – eine diesbezügliche Einzelfallbetrachtung der gegebenen Dachflächen wurde jedoch nicht durchgeführt und ist situationsabhängig. Über die Dachflächenentwicklung bis ins Jahr 2050 liegen keine Daten vor – weder sind Flächengrößen, noch Ausrichtung und Neigung und somit die solaren Einstrahlungsmengen belastbar abschätzbar. Vor dem Hintergrund 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 liegen im Bereich von Freiflächenanlagen bzw. an Nicht-Dachflächen von Bauwerken wie z.B. Gebäudefassaden oder Lärmschutzwänden, deren Potenziale jedoch nicht abgeschätzt wurden.

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 (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2015). Die solare Einstrahlung auf diese Dachflächen beträgt rund 251.000 TJ/a. Unter der Annahme, dass eine wirtschaftlich solartechnische Nutzung ab einer Einstrahlungsintensität von 950 kWh/(m²·a) gegeben ist, verbleiben für die Analyse solartechnisch nutzbarer Dachflächen rund 2,81 Mio. Dachflächenteile mit einer Einstrahlungssumme von rund 183.300 TJ/a – 73 % der Gesamtsolarstrahlung auf Dachflächen Tirols.

Tab. 2: Kennziffern zu Dachflächen Tirols.

Anzahl von Gebäudedächern	385.210
Anzahl von Dachteilflächen	3.482.147
Dachflächen geneigt	86.059.439 m²
Dachflächen – projiziert auf die Ebene	70.952.120 m²
Solare Einstrahlung auf geneigte Dachflächen	250.968 TJ/a
Solare Einstrahlung auf geneigte Dachflächen größer 950 kWh/(m²·a)	183.346 TJ/a
Dachfläche geneigt mit solarer Einstrahlung größer 950 kWh/(m²·a)	49.393.754 m²

Quelle: Solarkataster Tirol (2015).

Die Nutzung der Solarenergie wird durch bestimmte Techniken vorgenommen, mit welchen die de facto nicht-erschöpfliche Ressource „Sonnenstrahlung" direkt nutzbar gemacht werden kann. Die Solarthermie nutzt das Prinzip der Absorption und wandelt in Solarkollektoren die elektromagnetischen Wellen der Solarstrahlung in Wärme um. Die Photovoltaik wandelt die elektromagnetische Strahlung der Sonne mittels Solarzellen in elektrische Energie um. Bevorzugte Standorte für die Installation von Solarenergieanlagen sind Dachflächen, wobei zur Abschätzung der Energieausbeute im Rahmen der gegenständlichen Studie von einer dachparallelen Anordnung derartiger Anlagen ausgegangen wurde.
Dachflächen bestehen in der Regel nicht aus gleichmäßig geneigten Rechtecken, die theoretisch mittels Modulen bündig belegt werden können, sondern weisen Fensterflächen, Kamine, Gaupen, Kanten, Sockel etc. auf, die eine lückenlose Bestückung mit rechteckigen Standardmodulen nahezu unmöglich machen. 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.
Für die gegenständliche Studie wurden folgende Annahmen auf Basis von Musterauswertungen einzelner Gemeinden sowie einzelner Dachflächen getroffen:

- Nicht nutzbare Dachflächen aufgrund Dachfensterflächen, Kaminen, Kirchdächern, ... denkmalgeschützten Häusern etc. ..... 16 %
- Nicht nutzbare Dachflächen aufgrund Wartungs- und Servicebereichen: ..... 15 %

7.2.1 Photovoltaik auf Dachflächen

Unter der Annahme einer nutzbaren Energieausbeute von Photovoltaik-Anlagen in Höhe von 13 % der eingestrahlten solaren Energie sowie den o.g. nicht nutzbaren Flächen von Dächern mit einer solaren Einstrahlung von mehr als 950 kWh/(m²·a) verbleibt ein nutzbares Photovoltaik-Potenzial in Höhe von rund 16.500 TJ/a bei Nutzung sämtlicher nutzbarer Dachflächen Tiroler Gebäude. 22 % hiervon entfallen auf

Dachflächen des Bezirks Innsbruck-Land, je nur rund 6 % auf die Dachflächen der Bezirke Reutte und Landeck (Abb. 5).

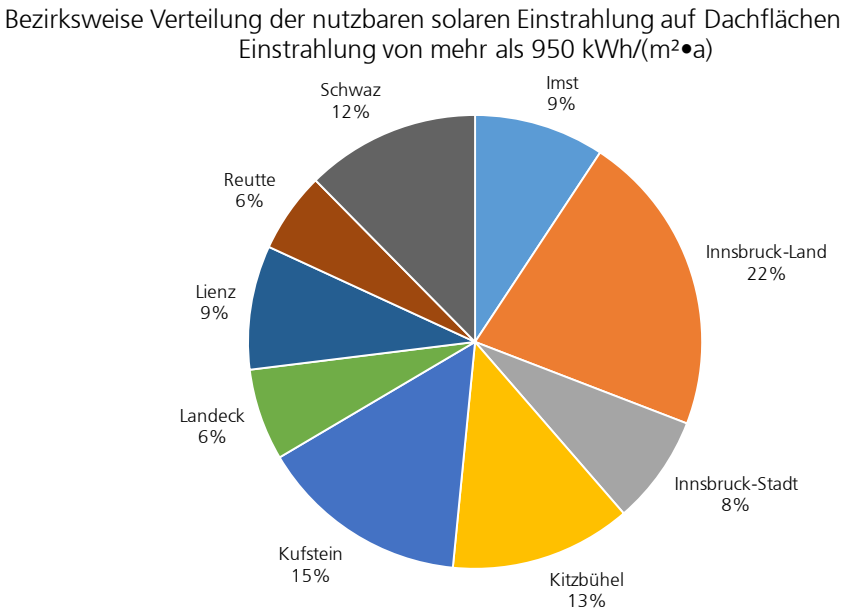


Abb. 5: Bezirksweise Verteilung der nutzbaren solaren Einstrahlung auf Dachflächen mit einer Einstrahlung von mehr als 950 kWh/(m²·a).

7.2.2 Solarthermie auf Dachflächen

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. nutzbaren Flächen von Dächern mit einer solaren Einstrahlung von mehr als 950 kWh/(m²·a) verbleibt ein nutzbares solarthermisches Potenzial in Höhe von rund 43.200 TJ/a bei Nutzung sämtlicher nutzbarer Dachflächen Tiroler Gebäude.

7.2.3 Dachflächen – Potenziale und Verfügbarkeit

Die zur Verfügung stehenden Dachflächen Tirols sind begrenzt. Eine Doppelnutzung mittels PV- und solarthermischen Modulen der gleichen Dachfläche ist nicht möglich. Entsprechend der Entwicklungen von PV- und solarthermischen Modulen in den vergangenen Jahren 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.

Die Erzeugung von Wärme und Strom mittels Modulen weist sowohl einen starken Tages- als auch Monatsgang auf. Entsprechend der solaren Einstrahlungsergebnisse des Solarkatasters Tirol kann die monatliche Erzeugung bei vollständiger Belegung unter o.g. Annahmen (Ausschlussflächen) entsprechend Abb. 6 angenommen werden. Es zeigt sich, dass von April bis September die Erträge über dem Durchschnitt liegen und im Dezember und Jänner – wenn in Tirol der größte Strombedarf zu verzeichnen ist – mit unter 3 % sehr gering ausfallen.

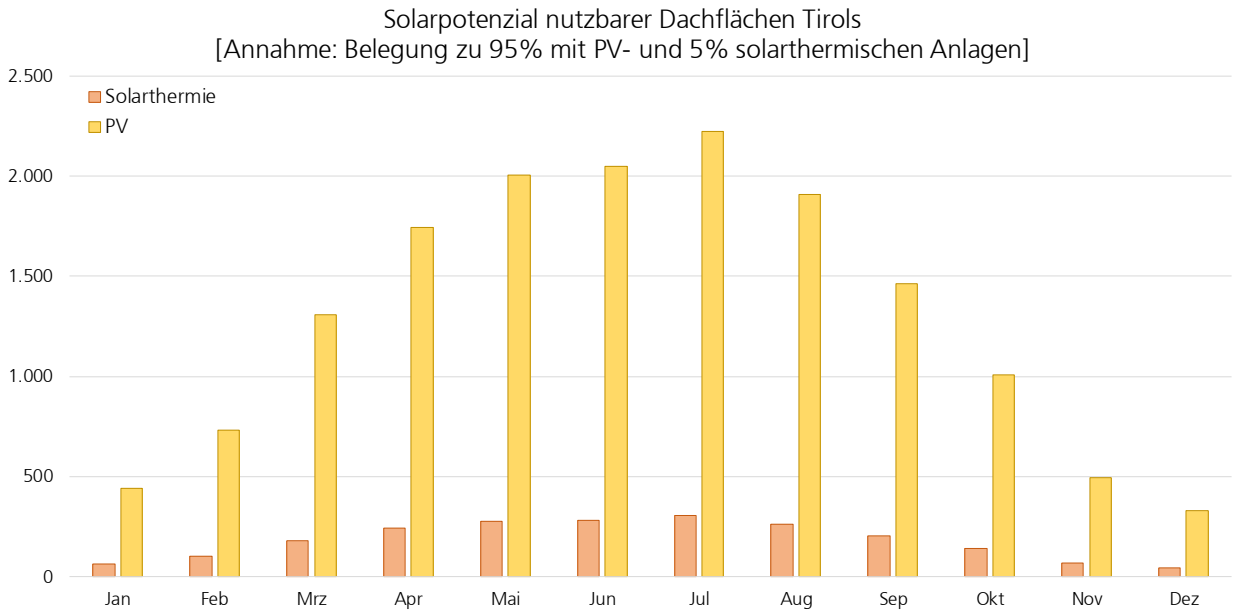


Abb. 6: Monatliche Erzeugungspotenziale von PV- und solarthermischen Anlagen bei Vollbelegung nutzbarer Dachflächen mit 95% PV- und 5% solarthermischen Anlagen.

7.2.4 Freiflächenanlagen

Aufgrund des u.a. nur beschränkten Dauersiedlungsraums, begrenzter landwirtschaftlicher Flächen, Interessen des Tourismus sowie des Landschaftsschutzes ist ein sorgsamer Umgang mit der Ressource Boden in Tirol nötig. 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 vorliegenden Studie verzichtet.

7.3 Biomasse Holz

Rund 41,2 % der Tiroler Landesfläche sind waldbestanden – dies entspricht eine Fläche von rund 500.000 km² (waldinventur.at). Die Fläche des Ertragswalds wird gemäß Österreichischer Waldinventur (ÖWI) für die Erhebung 2007 – 2009 wird mit rund 347.000 ha beziffert, wovon 74 % als Wirtschaftswald sowie 26 % als Schutzwald im Ertrag klassifiziert werden.
Der Holzzuwachs des Ertragswaldes wird mit rund 2,2 Mio. Vorratsfestmeter (Vfm) angegeben. Die regionale Verteilung zeigt Tab. 3.

Tab. 3: Regionale Verteilung der Waldflächen in Ertrag und der Holzzuwächse in Tirol.

Erhebung ÖWI 2007 - 2009	Fläche Ertragswald [ha]	Zuwachs Ertragswald [Vfm/a]
Innsbruck	30.000	131.000
Imst	31.000	198.000
Kitzbühel	47.000	462.000
Kufstein	42.000	263.000
Landeck	36.000	163.000
Osttirol	55.000	426.000
Reutte	37.000	155.000
Schwaz	46.000	285.000
Steinach	23.000	147.000
Tirol gesamt	347.000	2.237.000

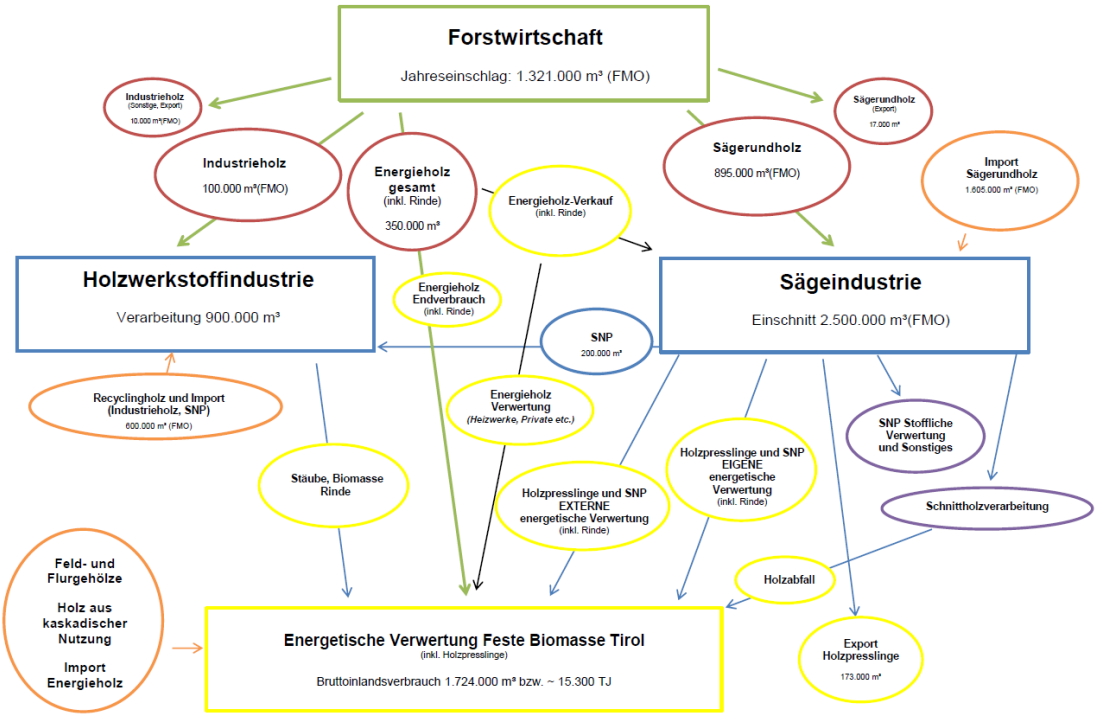
Quelle: www.waldinventur.at (2018).

Unter Beachtung von Ernteverlusten in Höhe von rund 20 % in Anlehnung an ADTLR (2016) verbleibt ein jährlicher Holzzuwachs im Ertragswald von rund 1,8 Mio. Erntefestmetern, was einem Energiegehalt von rund 16.000 TJ/a entspricht. Nach Mitteilung der Abt. Waldschutz des Amts der Tiroler Landesregierung am 03.11.2017 ist es schwierig, die derzeitigen Holzströme Tirols abzubilden und zu quantifizieren. Dies liegt u.a. auch an folgenden Entwicklungen:

- In den vergangenen Jahren verschwamm die Grenze zwischen „Wald im Ertrag“ und „Wald außer Ertrag“ zunehmend. Lag die Grenze des zu bewirtschaftenden Waldes vor einigen Jahren noch bei 40° Geländeneigung, werden nun Bestände mit bis zu 70° mittels Seilwinden bewirtschaftet.
- Eigentümer sind teilweise kaum auf eine Bewirtschaftung angewiesen.
- Schwierige Besitzstrukturen (u.a. kleinstparzellierte, ungünstig geschnittene Flächen) behindern eine wirtschaftliche Bewirtschaftung.
- Unklare Import- und Exporttätigkeiten v.a. der Holzindustrie. Innerhalb der Großbetriebe wird teils eine kaskadische Nutzung des Rohstoffs betrieben mit dem Ziel einer größtmöglichen innerbetrieblichen Nutzung.

- Die weitere Entwicklung der Tiroler Holzindustrie ist kaum vorhersehbar und hängt maßgeblich von den nationalen und internationalen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab.

Abb. 7 zeigt ein Holzflussbild Tirols für das Jahr 2016. Demnach wurden rund 1,3 Mio. m³ (FMO) Holz in Tirol eingeschlagen, was einem Energiewert von rund 11.800 TJ entspricht. Rund 25 % davon werden als Energieholz genutzt. Zur energetischen Nutzung stehen in Tirol gemäß den jährlich erstellten Holzflussbildern der Abt. Waldschutz rund 15.000 bis 16.000 TJ/a zur Verfügung, die sich einerseits aus dem energetisch eingesetzten, in Tirol geschlägerten Holz, andererseits aus importiertem Energieholz sowie energetisch genutzten Holzabfällen zusammensetzen.



Quelle: Amt der Tiroler Landesregierung (2018).

Abb. 7: Holzflussbild Tirol 2016.

Obwohl die Holz-Erntemenge aus den Tiroler Wäldern noch ausbaubar wäre, soll vor dem Hintergrund des beobachtbaren Agrarstrukturwandels sowie der Rahmenbedingungen am Holzmarkt in Abstimmung mit der Abt. Waldschutz bis in das Jahr 2050 von einem konstanten nutzbaren Holz-Energiepotenzial in einer Größenordnung von rund 15.700 TJ/a ausgegangen werden. Dieser Wert versteht sich vorbehaltlich eventueller tiefgreifender Änderungen in der Tiroler Holzindustrie aufgrund des europäischen Holzmarktes sowie vorbehaltlich großer Schadereignisse, welche regional kurzfristig zu einer sehr hohen Mobilisierungsrate führen können.

7.4 Biogas

Biogas kann grundsätzlich aus verschiedenen Substraten und Ausgangsstoffen gewonnen werden. Im Rahmen der ggst. Studie wird das nutzbare Biogas-Potenzial aus Bioabfall und Grünabfällen, nachwachsenden Rohstoffen, Wirtschaftsdünger und Klärgas für Tirol abgeschätzt.

7.4.1 Bioabfall und Grünpflanzen

Bioabfall und Grünpflanzen stellen organische Reststoffe des kommunalen und wirtschaftlichen Abfalls dar wie z.B. Essensreste und Rasenschnitt. Bioabfälle werden in Tirol in der Regel über die Biotonne oder ähnliche Sammelsysteme erfasst und durch Kompostierung und Gärung behandelt.
Im Rahmen des gegenständlichen Berichts wurden folgende Abfallkategorien in Anlehnung an BMNT (2017) betrachtet:

- Biogene Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen
  - Biotonne: Organische Abfälle aus der Industrie und Landwirtschaft sowie Bioabfall aus Haushalt, Gastronomie und Handel, die über Biotonnen erfasst werden.
  - Grünabfälle: erfasst über Containersammlungen und Abfallsammelzentren bzw. direkt einer Kompostieranlage zugeführt.
- Gemischter Siedlungsabfall: Der auch als Restmüll bezeichnete Abfall ist nach der Sammlung sehr schwer in die Fraktionen zu trennen. Der Anteil von Küchenabfall (Bioabfall) beträgt nach BMNT (2017) rund 18 % - eine Hebung dieses Potenzials scheint nur durch weitere Erfolge in einer intensivierten Abfalltrennung gegeben.

Mengen von Bioabfall und Grünpflanzen, die der Einzel- und Gemeinschaftskompostierung sowie Hausgärten zugeführt werden, wurden zur Bestimmung des nutzbaren Potenzials nicht betrachtet, da diese einer übergeordneten energetischen Behandlung nicht zur Verfügung stehen.

Das Abfallaufkommen in den Gemeinden Tirols wird jährlich bilanziert und über die Homepage des Landes Tirol publiziert. Die zu Grunde gelegte Zuweisung der Abfallfraktionen der Gemeindeerhebung des Landes zu den Abfallkategorien nach BMNT (2017) ist Tab. 4 zu entnehmen.

Tab. 4: Zuordnung von Abfallfraktionen.

Abfallfraktion der Gemeindeerhebung des Landes Tirol	Abfallkategorien nach BMNT (2017)
Bioabfall aus Haushalt, Gastronomie und Handel	Biotonne
Organische Abfälle aus Industrie und Landwirtschaft	Biotonne
Baum- und Strauchschnitt	Grünabfall
Grünabfälle aus Garten- und Parkanlagen	Grünabfall
Restmüll	Gemischter Siedlungsabfall

Entsprechend der Erhebungen fielen im Jahr 2016 in Summe rund 133.000 t Bioabfall und Grünabfälle in Tirol an, die für eine energetische Nutzung sortenrein zur Verfügung stehen. Die Ermittlung des Heizwerts des erzielbaren Biogases erfolgte über die Ermittlung der Trockensubstanzmengen, der organischen Trockensubstanzen und der hieraus erzielbaren Biogasmengen in Anlehnung an ARGE ECO.IN (2011) und BIOMASSEVERBAND OBERÖSTERREICH (2018). Für das Jahr 2016 wurde somit der Heizwert des Biogases aus Bioabfall und Grünpflanzen zu rund 358 TJ errechnet.

Zur Abschätzung des nutzbaren Biogaspotenzials im Jahr 2050 wurde auf Basis des Aufkommens der betrachteten Abfallfraktionen des Jahres 2016 über die prognostizierte Bevölkerungsentwicklung die Bioabfall- und Grünschnittmengen des Jahres 2050 bei vorausgesetzt gleicher Sammelintensität der Bevölkerung abgeschätzt. Die zur Verfügung stehende Bioabfall- und Grünpflanzen-Abfallmenge sollte demnach auf rund 149.000 t/a steigen. Der hieraus resultierende Heizwert des erzielbaren Biogases läge bei rund 401 TJ.
Die Aufkommen der Bio- und Grünabfälle 2016 und 2050 unterschieden nach Küchenabfall- und Grünschnittmengen sind Tab. 5 zu entnehmen.

Tab. 5: Übersicht Aufkommen in Tirol 2016

Sammel-verfahren	Aufkommen 2016		Zuordnung	Anteil	Aufkommen 2016	Heizwert 2016	Aufkommen 2050	Heizwert 2050
	[t]	[kg/EW]		[%]	[t]	[TJ]	[t]	[TJ]
Biotonne	87.490	117,3	Sonst.	3	(2.625)			
			Küchen-abfälle	29	25.372	86	28.470	97
			Grün-schnitt	68	107.453	271	120.573	304
Grünabfälle	47.960	64,3		100				
Summe	**135.450**	**181,6**			**132.825**	**358**	**149.043**	**401**

7.4.2 Nachwachsende Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe sind organische Rohstoffe, die aus land- und forstwirtschaftlicher Produktion stammen und durch menschliches Handeln zielgerichtet für weiterführende Anwendungszwecke außerhalb des Nahrungs- und Futterbereiches verwendet werden. Die zur Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen benötigte Fläche überschneidet sich somit vor allem mit dem Bereich heute ackerbaulich genutzter Flächen, wodurch es zu Nutzungskonflikten kommen kann.

In Tirol wurden 2010 rund 290.800 ha Flächen landwirtschaftlich genutzt – rund 23 % der Landesfläche. 9.458 ha wurden ackerbautechnisch genutzt (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER TIROL 2014) mit dem Ziel, Nahrungs-

und Futtermittel herzustellen.
Gerade auch aufgrund einer zunehmenden Flächen- und Nutzungskonkurrenz durch beispielsweise die Errichtung weiterer Straßen sowie Wohn- und Gewerbebebauung wird es zukünftig realistischer Weise keine nennenswerte Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen für eine energetische Nutzung in Tirol geben. Das nutzbare Potenzial wird daher im Rahmen des ggst. Berichts für das Jahr 2050 mit Null TJ angesetzt.

Für Österreich weist die Statistik Austria beispielsweise eine Abnahme der Ackerbauflächen im Zeitraum 2007 bis 2017 um rund 3,5 % aus (STATISTIK AUSTRIA 2018). In Tirol nahm die ackerbaulich genutzte Fläche zwischen 1999 und 2010 sogar um rund 21 % ab (ADTLR 2012).

7.4.3 Wirtschaftsdünger

Im Rahmen des ggst. Berichts werden als Wirtschaftsdünger organische Substanzen bezeichnet, welche in der Land- und Forstwirtschaft als Gülle, Jauche und Mist anfallen und gegenwärtig i.d.R. zur Düngung und somit zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit durch Rückführung organischer Substanz in den Boden eingesetzt werden. Aus Wirtschaftsdünger kann eine Produktion von Biomethan angestrebt werden, welches qualitativ Erdgas gleichkommt. Da Biogas mit rund 60 % einen gegenüber Erdgas (rund 98 %) niedrigeren Methananteil aufweist, muss dieses durch mehrere Reinigungsschritte und eine Methananreicherung auf Erdgasqualität aufbereitet werden, um z.B. in ein Erdgasnetz eingespeist werden zu können. Dieses Verfahren ist technisch möglich, wenn auch kostenintensiv (UBA 2012).

Die Abschätzung des nutzbaren Biogaspotenzials aus Wirtschaftsdünger erfolgt u.a. auf Basis

- von Viehbestandszahlen auf Gemeindeebene 2016 (Mitt. AdTLR vom 12.12.2017),
- von Viehbestandszahlen gemäß allgemeiner Viehzählung der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft der Jahre 1946 bis 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017),
- von Umrechnungsschlüsseln verschiedener Tierarten auf Großvieheinheiten (GVE) (AMA 2013),
- eines angenommenen mittleren Heizwertes von Biogas von 6,0 kWh/m³ (BIOMASSEVERBAND OBERÖSTERREICH 2018),
- einer räumlichen Verteilung des Stickstoffanfalls aus Wirtschaftsdünger im 250m-Raster (Auswertung der Landwirtschaftskammer (LWK) Tirol vom 23.04.2018),
- der Annahme eines Grenzwerts von notwendigen Großvieheinheiten auf kleinerem Raum zur sinnvollen Nutzung zur Erzeugung von Biogas (UBA 2012).

Anhand von Umrechnungsfaktoren und unter der Annahme, dass sich jeweils 50 % einer Tierart in Aufzucht befinden, wurde über Vieh-Bestandszahlen (STATISTIK AUSTRIA 2017) die aktuelle Gesamtzahl an Großvieheinheiten von Pferden, Rindern, Schafen, Schweinen und Ziegen in Tirol sowie deren Entwicklung bis heute abgeleitet. Die Hochrechnung der Viehbestandszahlen bis 2050 erfolgte anhand der Fortschreibung des Trends der Jahre 2005 bis 2014 der jeweiligen Tierarten.

Der Biogasertrag des Bestands einer Tierart wurde in Anlehnung an LEV STEIERMARK (2005) über den spezifischen Biogasertrag je GVE abgeschätzt. In Abstimmung mit der LWK Tirol (17.01.2018) wurde berücksichtigt, dass durch Alpung und Weidehaltung der Tiere rund 40 % des Substrats nicht zur Verfügung stehen. Die verbleibenden Substratmengen stellen unter Berücksichtigung eines mittleren Heizwerts von 6 kWh/m³ Biogas (BIOMASSEVERBAND OBERÖSTERREICH 2018) die Basis für die Abschätzung des theoretischen Potenzials dar.

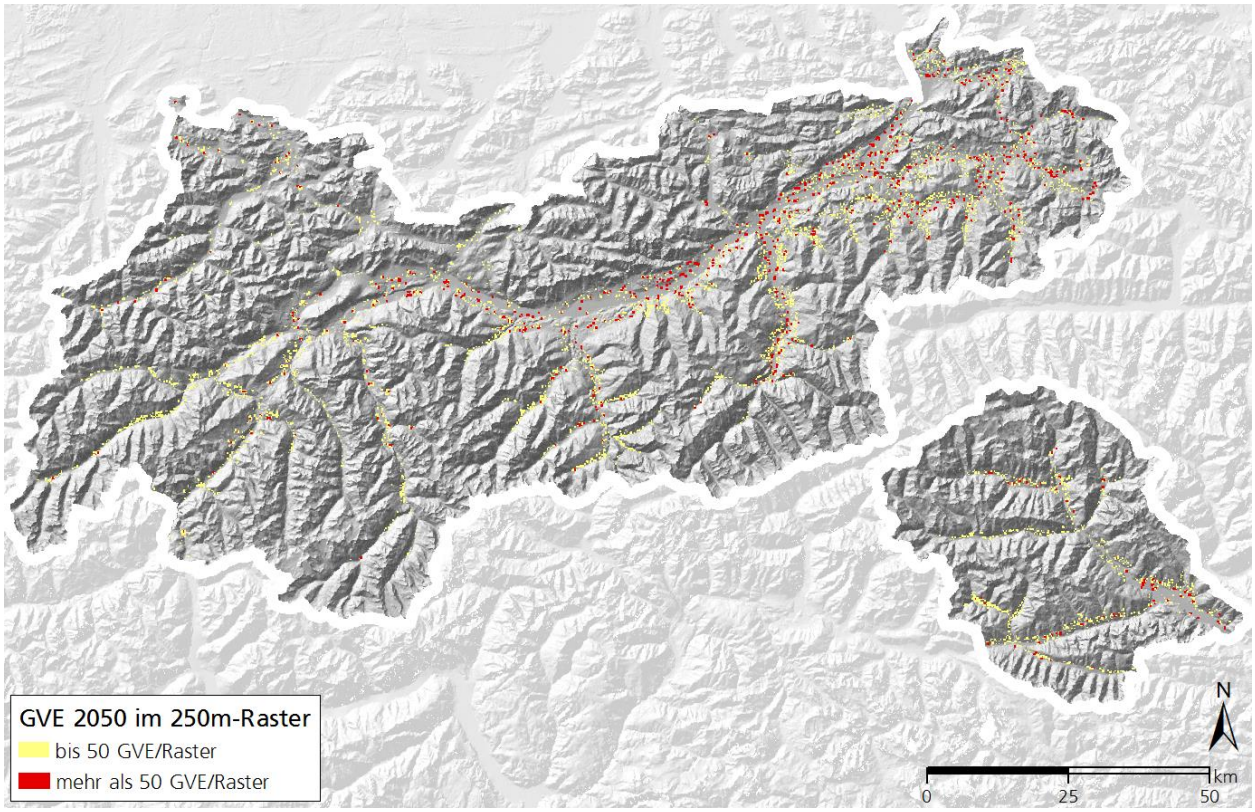


Abb. 8: Räumliche Verteilung der GVE-Bestände im Jahre 2050.

Die räumliche Verfügbarkeit des Substrats wurde über den verorteten Stickstoffanfall (tirolweite Auswertung im 250m-Raster der LWK Tirol vom 23.04.2018) abgeleitet. In Anlehnung an UBA (2012) wird davon ausgegangen, dass eine sinnvolle Nutzung des anfallenden Wirtschaftsdüngers ab einem Anfall von mindestens 50 GVE auf kleinem Raum möglich ist. In Abstimmung mit der LWK Tirol wurde davon ausgegangen, dass die Mindestanzahl von GVE auf einer Fläche mit Seitenlängen von je 250 m gegeben sein muss. Die Verteilung der Gesamtanzahl von GVE auf die Raster-Flächen erfolgte durch anteilige Verteilung entsprechend des ausgewiesenen Stickstoffanfalls. Über die Summe der GVE der Flächen mit mehr als 50 GVE wurde das nutzbare Potenzial berechnet.

Gemäß der zur Verfügung gestellten Daten des Amts der Tiroler Landesregierung umfasste der Viehbestand (Rinder, Pferde, Schweine, Ziegen, Schafe und Hühner) im Jahr 2016 rund 432.000 Tiere. Entsprechend der Trends der vergangenen Jahre kann bis 2050 mit einer Zunahme auf rund 473.000 Tiere gerechnet werden. Entsprechend den GVE-Faktoren nach AMA (2013) sowie der Annahme, dass die Viehbestände jeweils zur Hälfte ausgewachsen sind, ergeben sich für Tirol im Jahre 2016 rund 156.500 GVE sowie für das Jahr 2050 rund 180.300 GVE.

Das daraus resultierende Biogas weist 2016 unter Berücksichtigung von Alpungs- und Weidehaltungsverlusten einen Heizwert von rund 1.120 TJ, in 2050 einen Heizwert von rund 1.280 TJ auf. Unter der Annahme, dass Wirtschaftsdünger erst dann sinnvoll nutzbar ist, wenn mindestens 50 GVE auf einem engeren Raum vorliegen, errechnet sich auf Basis der Auswertungen zum Stickstoffanfall in Tirol im 250m-Raster der LWK Tirol das derzeit nutzbare Potenzial aus Wirtschaftsdünger auf 59.000 GVE. Für das Jahr 2050 wird ein nutzbares Potenzial von rund 77.400 GVE erwartet. Die Heizwerte der hierdurch anfallenden nutzbaren Wirtschaftsdünger betragen in 2016 rund 419 TJ, für 2050 können rund 549 TJ erwartet werden. Eine Übersicht über die Verteilung der GVE-Bestände im Jahre 2050 gibt Abb. 8, die wesentlichen Ergebnisse der Potenzialanalyse sind Tab. 6 zu entnehmen.

Tab. 6: Kennwerte der Biogas-Potenzialermittlung aus Wirtschaftsdünger.

	2016	2050
Viehanzahl	431.908 Stück	472.900 Stück
GVE	156.512 GVE	180.274 GVE
Theoretisches Potenzial (Heizwert des Biogases)	1.118 TJ	1.282 TJ
GVE in Raster >50 GVE	59.026 GVE	77.382 GVE
Anzahl Raster mit >50 GVE	672	846
Nutzbares Potenzial (Heizwert des Biogases)	419 TJ	549 TJ

7.4.4 Klärgas

Klärgas (oder auch Sumpfgas bzw. Faulgas) bezeichnet gasförmige Produkte aus der Vergärung von organischen Abfallen in der Kläranlage. Gemäß Kläranlagenkataster Tirol aus dem Jahr 2012 (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2013) lag die Jahresmenge von „Klärschlamm entwässert“ bei 712.849 Einwohnern (STATISTIK AUSTRIA 2017) bei 19.881 t_{TS}. Dies entspricht einem durchschnittlichen Anfall von „Klärschlamm entwässert“ von rund 27,9 kg/Einwohner.

Den spezifischen Klärschlammanfall je Einwohner als konstant angesetzt, errechnet sich unter Beachtung der (prognostizierten) Bevölkerungsentwicklung (STATISTIK AUSTRIA 2016, 2017) der Anfall von „Klärschlamm entwässert“ für 2016 auf rund 20.700 t, für 2050 auf rund 23.350 t.

Entsprechend KALTSCHMITT et al. (2009) lässt sich aus dem o.g. Klärschlammaufkommen der erzielbare Biogasertrag abschätzen sowie der Heizwert des Biogases in Anlehnung an BIOMASSEVERBAND OBERÖSTERREICH (2018) ermitteln.
Für Tirol wurde für das Jahr 2016 ein nutzbares Heizwert-Potenzial von Biogas aus Klärschlamm in Höhe von 228 TJ ermittelt. Das nutzbare Potenzial im Jahr 2050 wird auf etwa 266 TJ geschätzt.

7.5 Umweltwärme

Die im Rahmen der Potenzialanalyse behandelte Umweltwärme bezieht sich auf Grundwasser, Erdwärme (oberflächennahe Geothermie) sowie Luft. Die Nutzung der Umweltwärme erfolgt über die Gewinnung der Energie mit Hilfe von Wärmepumpen

7.5.1 Grundwasser

Das nutzbare Umweltwärme-Potenzial aus Grundwasser wird im Rahmen der ggst. 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. Das Grundwasser, welchem Wärme entzogen wurde, wird anschließend dem Grundwasserkörper zurückgeführt.

Tirol verfügt v.a. in den größeren Tälern über ausgedehnte, oftmals zusammenhängende Grundwasserkörper. Durch ANDERLE et al. (1978) wurden die Grundwasserkörper gesamthaft grob aufgearbeitet und mit Informationen zum Flurabstand ergänzt. Die Ergebnisse dieser Befundaufnahme stellen die Basis der Potenzialabschätzung der ggst. Studie dar.
In einem ersten Schritt wurden aus sämtlichen Grundwasserkörper Tirols aufgrund von Ausdehnung und Gefälle 59 Teil-Grundwasserkörper gebildet (Abb. 9) und für diese Angaben zu Länge, Breite und Durchschnittsgefälle ermittelt. Kleinräumige, lokal eng begrenzte Grundwasserkörper sowie jene in Höhenlagen von mehr als 1.400 m ü.d.A. wurden nicht weiter berücksichtigt.

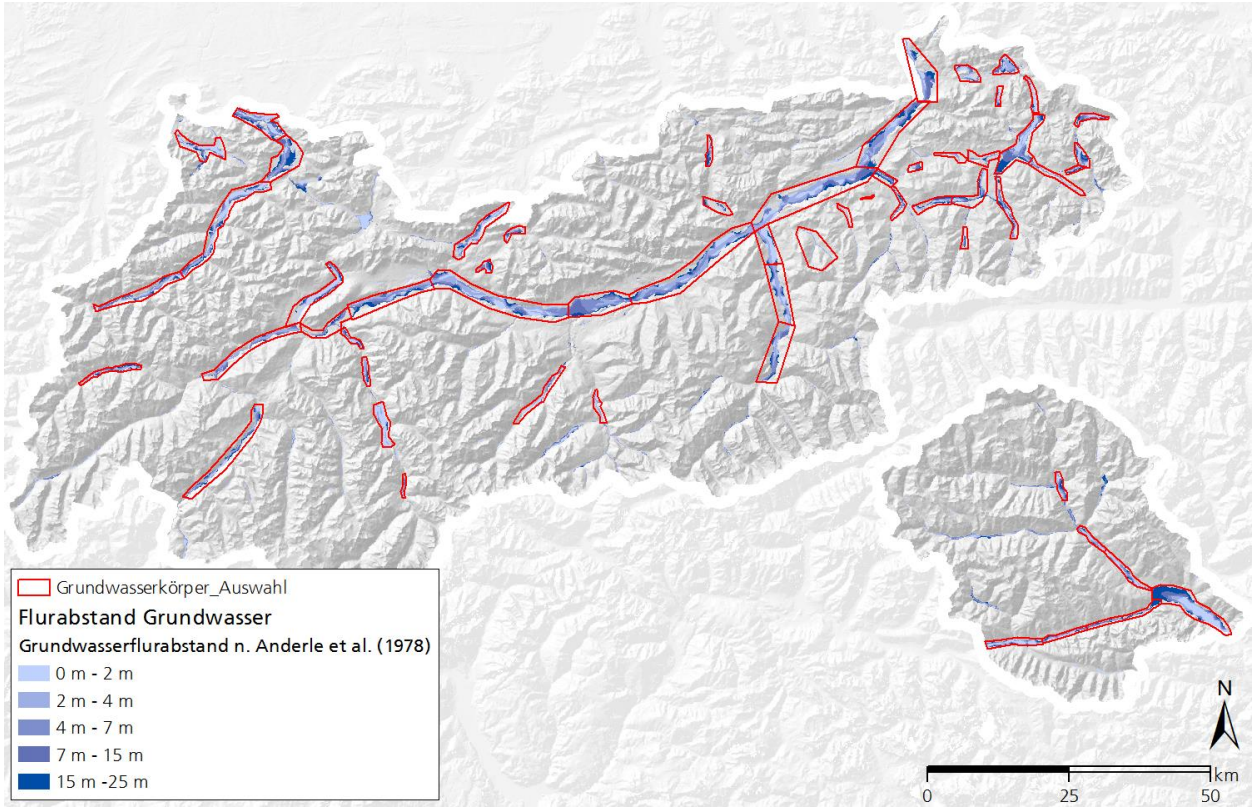


Abb. 9: Auswahl der zur Potenzialermittlung herangezogenen Grundwasserkörper Tirols.

Die Potenzialermittlung erfolgte über die Berechnung von Grundwasserströmen und Thermalfrontenlängen nach dem Verfahren von INGERLE (1988) unter Berücksichtigung des ÖWAV-Regelblatts 207 (ÖWAV 2009). Die benötigten Parameter wurden aus den im Wasserinformationssystem des Landes Tirol hinterlegten Wasserwirtschafts- und Wasserbuchauszügen der dort verzeichneten Grundwassermessstellen und Grundwasserentnahmen entnommen. Insbesondere wurden folgende Parameter erhoben:

- mittlere Grundwassertemperatur,
- Temperaturspreizung (δT),
- Durchlässigkeitsbeiwert (k_f),
- Transmissivität (T),
- Grundwassermächtigkeit (M),
- Grundwassergefälle (J) und
- Flurabstand/Abstich.

Für Grundwasserkörper, für die mehrere Informationen vor allem über k_f-Werte, Transmissivität und Grundwassergefälle vorlagen, wurden Mittelwerte gebildet. Scheinbar unplausible und scheinbar nicht repräsentative Werte wurden nicht berücksichtigt. Gebiete, für die keine Werte ermittelt werden konnten, wurden mit Werten vergleichbarer anderer Gebiete versehen und das Grundwassergefälle entsprechend des Oberflächengefälles angenommen. Grundwassertemperaturen wurden entweder dem WIS

oder den Messwerten des Hydrographischen Dienstes entnommen bzw. über die mittleren Lufttemperaturen in der Nähe liegender Messstationen abgeschätzt, wobei davon ausgegangen wurde, dass diese um rund 1 K höher liegen als die mittleren Grundwassertemperaturen (BMLFUW 2017, BENZ et al. 2017a, 2017b). In Anlehnung an ADTLR (2007) wurde darauf geachtet, dass die Temperaturspreizung derart angesetzt wurde, dass das rückgegebene Wasser eine Temperatur von mindestens 5 °C aufweist. Mit diesen Randbedingungen verblieben 55 (Teil-)Grundwasserkörper in der Auswertung.
Über die Länge der errechneten Thermalfronten wurde die Anzahl an Talquerschnittsanlagen, die im Gebiet errichtet werden könnten, abgeschätzt, worüber wiederum bei einer angenommenen durchschnittlichen jährlichen Betriebsstundenzahl ein nutzbares Energiepotenzial errechnet wurde. Tab. 7 gibt die wesentlichen Ergebnisse der Potenzialanalyse der (Teil-)Grundwasserkörper wieder. Das ermittelte nutzbare Potenzial beträgt demnach 2.877 TJ/a.

Tab. 7: Nutzbares Grundwasserwärmepotenzial Tirols sowie wesentliche Kennziffern der 55 ausgewerteten (Teil-)Grundwasserkörper.

	nutzbares Potenzial P_{th} [TJ/a]	Länge [m]	Breite [m]	Grund-wasser-temp. [°C]	Spreizung [K]	Gefälle [%]	Trans-missivität [m²/s]	Durchlässigkeits-beiwert [m/s]
Summe	2.877	545.760	40.900					
Mittelwerte		9.250	817	8,5	2,8	0,6	0,031	0,0033

Die Methodik der durchgeführten Potenzialermittlung sowie die erhaltenen Resultate wurden im Rahmen eines Abstimmungsgesprächs mit Hydrologe Dr. U. STEGNER am 12.12.2018 als plausibel erachtet.

Es ist anzumerken, dass aufgrund des nur geringen Kenntnisstands über die tatsächlichen Grundwassertemperaturen sowie deren räumlicher sowie zeitlicher Variation die ermittelten Potenziale mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten sind. Sollten sich die Erkenntnisse von BENZ et al. (2017a, 2017b) auf die Tiroler Grundwasserkörper übertragen lassen, könnte in weiteren Gebieten eine Grundwasser-Wärmenutzung aufgrund ausreichend hoher Temperaturwerte möglich sein, die im Zuge dieser Erhebung nicht betrachtet wurden.

7.5.2 Erdwärme

In der Erde sind große Energiemengen gespeichert – und ständig wird dort neue Energie gebildet. Im Erdkern herrschen Temperaturen von etwa 5.000 °C. Im Untergrund steigen die Temperaturen pro 100 m Tiefe um rund 3 K an. An der Erdoberfläche betragen die Temperaturen in Mitteleuropa i.d.R. rund 7 bis 12 °C und werden maßgeblich über die Erdoberfläche durch Sonneneinstrahlung und Niederschläge beeinflusst (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2014). Die Nutzung der Erdwärme der oberen 400 Meter mit

Hilfe von Wärmepumpen wird als „Oberflächennahe Geothermie“ bezeichnet, die tiefer als 400 m gelegenen Bereiche werden der Tiefengeothermie zugeordnet (Kap. 7.6).
Im Wesentlichen existieren zwei Systeme, der Erde die Erdwärme zu entziehen: Erdwärmesonden und Erdkollektoren. Bei ersterem wird eine Erdwärmesonde senkrecht i.d.R. 80 bis 150 m tief in den Boden eingebracht. Erdkollektoren dagegen bestehen aus Rohren oder Matten, die oberflächenparallel rund 20 cm unterhalb der Frostgrenze im Erdreich verlegt werden. Da hierfür viel Fläche benötigt wird, eignet sich das System vorzugsweise für Grundstücke mit größerer Grundfläche. Grundsätzlich kann Erdwärme an nahezu jeder Stelle und in verschiedenster Tiefenlage gewonnen werden. Im ggst. Bericht wird daher darauf verzichtet, quantitativ ein nutzbares Erdwärme-Potenzial auszuweisen. Es wird als theoretisch nahezu unbegrenzt angesehen.

7.5.3 Luftwärme

Zum Transport von Wärme hat Luft den Vorteil, dass sie nicht gefrieren kann und aufgrund von permanenter Luftbewegung stets in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Mit abnehmender Lufttemperatur verlieren Luftwärmepumpen allerdings an Effizienz. Aufgrund der relativ günstigen Errichtungskosten von Luftwärmepumpen gegenüber Grundwasser- und Erdwärme-Wärmepumpenanlagen beträgt der Luftwärmepumpenanteil an den geförderten Wärmepumpenanlagen der großen Tiroler Energieversorgungsunternehmen in den vergangenen Jahren über 50 %. Aufgrund des de facto nahezu unerschöpflichen Energiedargebots aus der Luft wird im ggst. Bericht auf eine Quantifizierung des nutzbaren Luftwärme-Potenzials verzichtet. Es wird als theoretisch nahezu unbegrenzt angesehen.

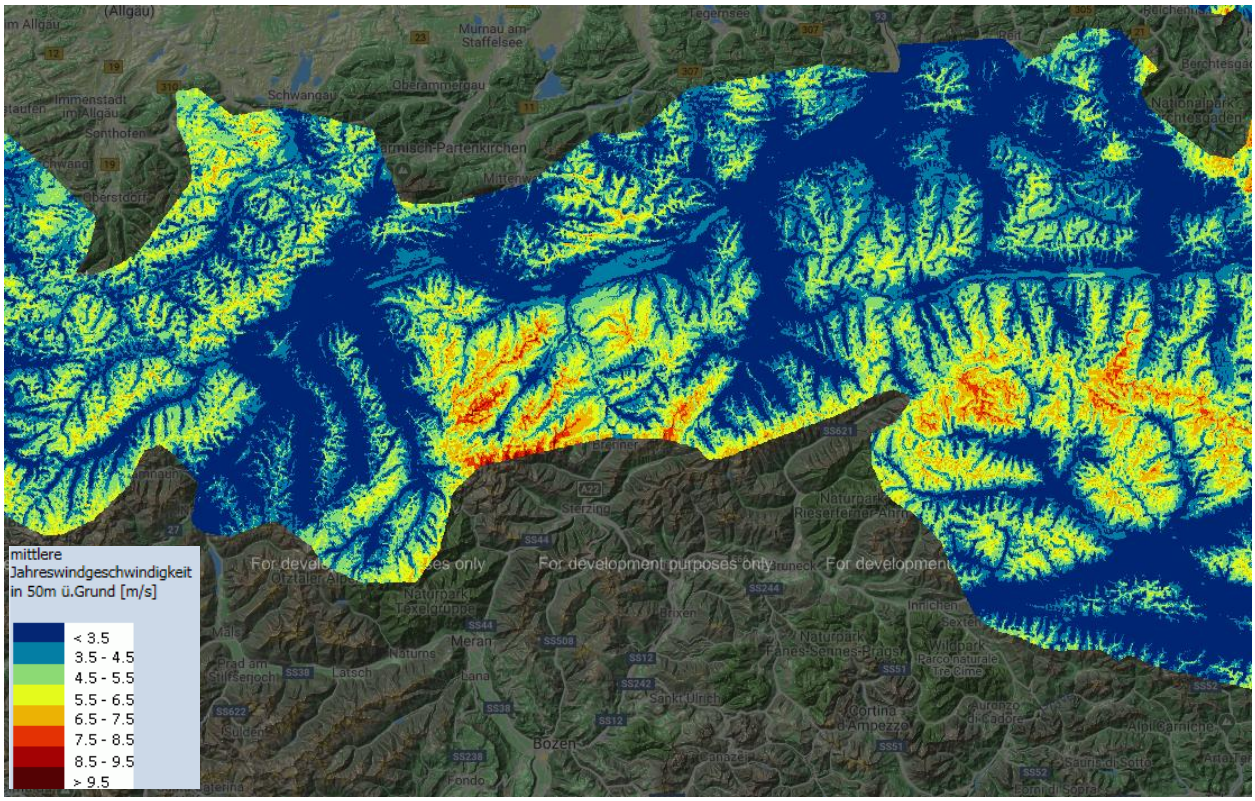
7.6 Tiefengeothermie

Die Tiefengeothermie umfasst das Energiedargebot in den tieferen Erdschichten jenseits der 400 m-Grenze, an der etwa Temperaturen um 20 °C herrschen. Grundsätzlich kann über Tiefbohrungen die geothermische Energie erschlossen werden, welche direkt – d.h. ohne Wärmepumpen – genutzt werden kann. Mit Verfahren wie dem „Hot-Dry-Rock-Verfahren“ werden Gesteinsschichten in 4000 bis 5000 Meter Tiefe quasi als Durchlauferhitzer genutzt. 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.
In Tirol existieren bisher an fünf Stellen Tiefbohrungen. Zwei Stellen werden zur Gewinnung von Heilwasser, eine zur Gewinnung von Badewasser genutzt. Eine weitere stellt eine geologische Erkundungsbohrung dar, die fünfte wird aktuell nicht genutzt (ADTLR 2017). Eine energetische Nutzung der Bohrungen ist nicht bekannt. Da eine zukünftige energetische Nutzung der Tiefengeothermie in Tirol einerseits nicht ersichtlich ist, andererseits auch nicht abgesichert quantifizierbar ist, wird im ggst. Bericht darauf verzichtet, ein nutzbares Tiefengeothermie-Potenzial auszuweisen.

7.7 Wind

Die im Jahr 2013 erstellte Windpotenzialstudie „Windenergie in Tirol“ weist unter Berücksichtigung verschiedener Restriktionen wie z.B. Hangneigungen, Schutzgebietsflächen, Erschließbarkeit und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ein nutzbares Windenergiepotenzial in der Größenordnung von 720 bis 1080 TJ/a aus (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2013). Rund 75 % des Potenzials liegt dabei südlich des Inns im Bezirk Innsbruck-Land, wesentliche weitere Potenziale liegen in den Bezirken Lienz, Reutte und Schwaz. Allen ausgewiesenen Potenzialflächen gemein ist, 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. Abb. 10 gibt einen Überblick über die zu erwartenden mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten in einer Höhe von 100 m über Grund. Gemäß Kriterienkatalog Windkraft gelten Anlagenstandorte mit mittleren Windgeschwindigkeiten von mehr als 5,5 m/s in einer Höhe von 100 m als bevorzugte Standorte.

Im Rahmen der ggst. Studie wird in Anlehnung an AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2013) von einem nutzbaren Wind-Potenzial von 900 TJ/a ausgegangen.



Quelle: www.windatlas.at

Abb. 10: Auszug der Windkarte von Österreich – mittlere Jahres-Windgeschwindigkeiten in 100m über Grund.

7.8 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). Das Konzept der Errichtung und des Betriebs einer zentralen Anlage zur thermischen Abfallbehandlung in Tirol wurde jedoch nicht umgesetzt, der Export des Abfalls nach Deutschland bzw. Ober- und Niederösterreich wurde bevorzugt (RECHNUNGSHOF ÖSTERREICH 2014, 2017). 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).

Um das nutzbare Potenzial des Tiroler Abfalls zur thermischen Behandlung abzuschätzen, wurden die tirolweit anfallenden und thermisch verwendbaren Abfallmengen erhoben. Parallel hierzu wurden Heizwerte der zur thermischen Behandlung geeigneten Müllfraktionen recherchiert.
Die sich aus den zur Verfügung stehenden Abfallmengen und dem Heizwert ergebenden Werte stellen das nutzbare Wärme-Potenzial dar, wobei die tatsächlich zur Verfügung stehende Wärme nach Einsatz des Abfalls in einer thermischen Abfallbehandlungsanlage aufgrund von Wärmeverlusten und Eigenbedarfen geringer ist.

Informationen über die in Tirol anfallenden Abfallmengen und -fraktionen im Siedlungsbereich wurden der Abfallstatistik des Landes Tirol (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2017) entnommen. Diese wird seit dem Jahre 1995 jährlich fortgeschrieben und umfasst u.a. die Aufkommen der Fraktionen Restmüll, Sperrmüll, Bioabfall und Strauchschnitt.
Betriebliche Abfallmengen werden seit einigen Jahren nach Auskunft des Amts der Tiroler Landesregierung (DI NEURAUTHER, 18.01.2018) nicht mehr zentral erfasst. Über den Verbleib und die Mengen der in den Tiroler Betrieben aktuell anfallenden Abfallmengen liegen daher keine aktuellen Informationen vor. Für das Jahr 2003 finden sich u.a. im Kurzbericht zur Restmüllentsorgung Tirols Angaben zur Menge der betrieblichen Abfälle (IUT 2003).
Angaben zu Müllmengen aus dem kommunalen Bereich, die einer thermischen Behandlung zugeführt werden, beziffert der Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017 – Teil 1 (BMNT 2017).
Der spezifische Heizwert von Abfall zur thermischen Verwertung wurde auf Basis verschiedener thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Österreich und der Schweiz sowie auf Basis von Betreiberinformationen abgeschätzt (WIEN ENERGIE 2012, www.wienenergie.at, www.vbsa.ch).

Gemäß BMNT (2017) fielen im Siedlungsbereich Tirols im Jahre 2015 rund 373.772 t Abfälle an. Damit weist Tirol mit 510 kg/a Abfallanfall je Einwohner hinter Niederösterreich (520 kg/a) das zweithöchste Siedlungsabfallaufkommen Österreichs auf. Rund 25 % des Aufkommens entfallen in Tirol auf die Fraktion

„Gemischter Siedlungsabfall“, weitere 6 % stellen Sperrmüll dar. Nach Auskunft von DI NEURAUTER, Abteilung Umweltschutz, sollten zur Abschätzung der realistisch zur thermischen Behandlung zur Verfügung stehenden Siedlungsabfallmengen lediglich die Fraktionen Hausmüll/gemischter Siedlungsabfall und Sperrmüll betrachtet werden. Diese Abfallmengen sind seit etwa 2003 in etwa konstant und unterliegen nur geringen Schwankungen (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2017, BMNT 2017). Gemäß Tab. 8 liegen die erfassten Hausmüll- und Sperrmüllmengen der vergangenen Jahre in Tirol durchschnittlich bei rund 117.500 t/a.

Tab. 8: Siedlungsabfälle in Tirol – Fraktionen Haus- und Sperrmüll.

	2003	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Ø
Hausmüll	94.000	95.570	93.620	94.420	96.560	97.880	96.563	**95.516**
Sperrmüll	22.300	21.470	22.200	21.290	22.150	22.370	22.146	**21.989**
Gesamt	116.300	117.040	115.820	15.710	118.710	120.250	118.709	**117.506**

Quelle: AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2017), IUT (2003).

Gemäß IUT (2003) fielen in Tirol im Jahre 2003 im betrieblichen Bereich weitere 70.500 t Abfälle an, von denen 64.650 t prinzipiell für eine thermische Behandlung geeignet wären. Letztere stellen rund 56 % der ausgewiesenen Haus- und Sperrmüllmengen dar.
Um die betrieblichen, thermisch behandelbaren Abfallmengen, die aktuell statistisch nicht erfasst werden, in der gegenständlichen Potenzialabschätzung abzubilden, wird davon ausgegangen, dass sich das Verhältnis von thermisch verwertbarem betrieblichem Abfall und thermisch verwertbarem kommunalem Haus- und Sperrmüll seit 2003 nicht wesentlich verändert hat. Demnach kann von den in Tab. 9 genannten Abfallmengen im kommunalen und betrieblichen Bereich zur thermischen Behandlung ausgegangen werden – im Schnitt rund 182.800 t/a.

Tab. 9: Geschätzte betriebliche und Siedlungsabfälle in Tirol.

	2003	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Ø
Haus- und Sperrmüll	116.300	117.040	115.820	15.710	118.710	120.250	118.709	**117.506**
Betriebliche Abfälle zur thermischen Verwertung	64.650	65.061	64.383	64.322	65.990	66.846	65.989	**65.320**
Gesamt	180.590	182.101	180.203	180.032	184.700	187.096	184.698	**182.826**

Quelle: AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2017), IUT (2003).

Der zur Potenzialabschätzung berücksichtigte spezifische Heizwert der ausgewiesenen Abfallmengen wurde über Vergleichsdaten schweizerischer Müllverbrennungsanlagen des Jahres 2017 (3,28 MWh/t) (VBSA 2017) sowie der Wiener Abfallbehandlungsanlage Spittelau des Jahres 2006 (2,63 MWh/t) (WIEN ENERGIE 2012) sowie nach erfolgter Sanierung mit einhergehender Effizienzsteigerung (rund 3 MWh/a) (WIEN ENERGIE 2017) abgeschätzt und mit 3 MWh/t definiert. Unter dieser Annahme ergibt sich aus den angeführten, zur thermischen Verwertung geeigneten Abfallmengen im Jahre 2016 ein nutzbares Wärmepotenzial von rund 1.975 TJ/a.

Um die o.g. Werte zu plausibilisieren, kann der Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 (BMNT 2017) herangezogen werden. Demnach wurden im Jahre 2015 insgesamt 144.000 t Siedlungsabfälle aus Tirol einer thermischen Verwertung zugeführt, wovon 106.200 t den Fraktionen „gemischter Siedlungsabfall“ und „Sperrmüll“ zuzuordnen sind. Auch diese Mengen erscheinen für DI Neurauter, Leiter des Abfallreferats des Landes Tirol, für thermisch verwertbare Siedlungsabfälle realistisch.

Der im Auftrag der Tiroler Landesregierung erstellte Bericht zur thermischen Abfallverwertungsanlage in Tirol (TB HAUER 2010) weist für das Jahr 2010 eine zur Verfügung stehende Menge von vorbehandeltem, gemischten Siedlungsabfall von rund 95.000 t aus, was mit den ausgewiesenen Hausmüllmengen (Tab. 8) vergleichbar ist. Der dem Bericht zu entnehmende Heizwert des einzusetzenden Substrats wird mit 2,76 MWh/t ausgewiesen und liegt somit ebenfalls im Bereich der oben angesetzten Größe.

Die tatsächlich im Jahre 2050 anfallenden und thermisch zu verwertenden Abfallmengen werden im Rahmen der gegenständlichen Studie entsprechend der Bevölkerungsentwicklung mit Hilfe des aktuellen spezifischen Abfallaufkommens je Einwohner abgeschätzt. Die tatsächlich verfügbare Abfallmenge hängt jedoch wesentlich auch von den Sammel- und Trennaktivität der Bevölkerung und der Abfallbehandlung sowie dem grundsätzlichen Einsatz von Materialien in der Produktion ab. Gemäß STATISTIK AUSTRIA (2016) ist bis 2050 von einem Bevölkerungswachstum um rund 15 % gegenüber 2016 auszugehen. Entsprechend ergibt sich ein nutzbares Wärmepotenzial (Heizwert) des kommunalen Haus- und Sperrmülls sowie der betrieblichen, zur thermischen Verwertung geeigneten Abfallmengen in Höhe von rund 2.262 TJ/a.

7.9 Zusammenfassung Ressourcen

Tab. 10 gibt einen Überblick über die ausgewiesenen nutzbaren Energieressourcen Tirols. Das Wasserkraftpotenzial orientiert sich hierbei am Wasserkraftausbauziel des Landes. Das bezifferte Solar-Potenzial berücksichtigt die nutzbaren Dachflächen unter Berücksichtigung von Abschlägen für z.B. Stadeln, Kirchen, denkmalgeschützte Gebäude, aber auch Service- und Wartungsflächen sowie Dachfenster, Gaupen etc. Die Erträge orientieren sich an der tatsächlichen Neigung der Dachflächen – durch Aufständerungen von Modulen können mitunter höhere Erträge erzielt werden. Das Energieholz-Potenzial ist nur unsicher abschätzbar und ist maßgeblich abhängig von der Entwicklung der Tiroler Holzindustrie. Die ausgewiesenen Biogas-Potenziale sind in hohem Maße abhängig von der Substratverfügbarkeit und der Wirtschaftlichkeit. Im Rahmen der Studie wurde nicht davon ausgegangen, dass der Biogasgewinnung durch Ackerpflanzen zukünftig mehr Akzeptanz zugewiesen wird als der Lebensmittelproduktion auf den gleichen Flächen. Die Umweltwärme aus Erdwärme und Luft stellt ein annähernd unbegrenztes Potenzial dar.

Tab. 10: Überblick des nutzbaren Energiepotenzials Tirols 2016 und 2050.

Energieressource	**2016 [TJ]**	**2050 [TJ]**
Wasserkraft	30.600	
Sonne		
Photovoltaik (95% der nutzbaren Dachflächen)	15.704	
Solarthermie (5% der nutzbaren Dachflächen)	2.161	
Freiflächen	nicht beziffert	
Holz	15.736	
Abfälle	1.975	2.262
Wind	900	
Biogas		
aus Bioabfall und Grünpflanzen	358	401
aus Wirtschaftsdünger	419	549
aus Klärgas	228	266
aus nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo)	0	
Umweltwärme		
aus dem Grundwasser	2.877	
aus der Erde	nicht beziffert	
aus der Luft	nicht beziffert	
Tiefengeothermie	nicht beziffert	

8 ENERGIESYSTEM 2016

8.1 Sektor Mobilität

Die Statistik Austria führt jährlich Nutzenergieanalysen durch, in denen die Energiebedarfe unterschiedlicher Energieträger verschiedenen Sektoren und Bereichen zugeordnet werden. Diese Zuordnung erfolgt teilweise Top-Down. Diesem Ansatz wurde zur Plausibilisierung und Erweiterung sowie zur Identifikation von Stellhebeln ein Bottom-Up-Ansatz gegenübergestellt (Kap. 16.1).

Die Ableitung der Szenarien in dieser Studie basiert auf der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria für Tirol 1988-2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017). Diese weist für das Jahr 2016 bei Energiebilanz-konformer Berücksichtigung der Traktion für Transport in Tirol einen Endenergiebedarf von 30.601 TJ auf (Tab. 11).

Tab. 11: Endenergiebedarf 2016 im Transport nach Bereichen [TJ].

	Transport Gesamt	Eisenbahn	Flugverkehr	Binnenschiff	Rohrleitung	Sonstiger Landverkehr
Steinkohle	2	2	-	-	-	-
Diesel	20.689	216	-	83	-	20.390
Benzin	4.886	-	15	9	-	4.862
Petroleum	1.462	-	1.462	-	-	-
Flüssiggas	8	-	-	-	-	8
Erdgas	144	-	-	-	-	144
Elektrische Energie	1.532	788	-	-	328	416
Biogene Treibstoffe	1.879	14	-	-	-	1.865
Gesamt	**30.601**	**1.020**	**1.477**	**92**	**328**	**27.685**

Quelle:STATISTIK AUSTRIA (2017).

Der überwiegende Teil der Endenergie stammt dabei aus fossilen Energieträgern (89 %). Dabei dominieren Erdölprodukte, die vor allem im sonstigen Landverkehr (Straßenverkehr) in Form von Diesel und Benzin eingesetzt werden. Der Transport verzeichnet damit etwa drei Viertel des Bedarfs von Erdölprodukten in Tirol. Biogene Brenn- und Treibstoffe decken 6 % und elektrische Energie 5 % des Energiebedarfs im Transport ab.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Top-Down-Ansatz der Nutzenergieanalyse bestimmte Unschärfen aufweist. So zeigt der Vergleich mit konkreten Betriebszahlen, dass die Energiebedarfe der Binnenschifffahrt (92 TJ) und des Flugverkehrs (1.477 TJ) in der Statistik unplausibel hoch sind. Im Tiroler Energiemonitoring-Bericht wird festgehalten, dass die in Tirol auf die Achensee- sowie – weit unbedeutender – auf die Heiterwang-Schiffahrt beschränkte Binnenschifffahrt im Jahr 2015 einen Dieselbedarf von etwa 7 bis 8 TJ aufwies und der Bedarf 2016 noch etwas geringer war. Der Nachhaltigkeitsbericht des Flughafens

Innsbruck weist für 2016 für den Flugbetrieb 13.361.734 Liter Kerosin und 76.278 Liter AvGas aus (TIROLER FLUGHAFENBETRIEBS-GMBH 2017). Das entspricht ca. 500 TJ Endenergie. Die unplausiblen Werte der Statistik dürften auf die Methodik der Umlegung auf die einzelnen Bundesländer zurückzuführen sein. Im Gegensatz dazu stammt beispielsweise der Energiebedarf für den Bereich Rohrleitungen direkt aus den Betriebsangaben der Betreibergesellschaft der Transalpinen Ölleitung (TAL).

Eine wesentliche Unschärfe ist auch im Bereich der Treibstoffe und hier vor allem beim Diesel 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. Die Plausibilisierung mit dem Bottom-Up-Ansatz (Kap. 16.1) lässt vermuten, dass in der Statistik nur etwa ein Drittel der Treibstoffe berücksichtigt sind, die in Tirol dem Tanktourismus zuzuordnen sind. Zudem ist anzumerken, dass in der Statistik der Energiebedarf für Ziel- und Quellverkehr nur in dem Ausmaß erfasst ist, in dem in Tirol Treibstoff bezogen wird. Daher wird beispielsweise der Energiebedarf für die An- bzw. Abreise von Touristen mit dem PKW nur zu einem geringen Teil berücksichtigt.

Da es auch von Seiten des Advisory Boards als wichtig erachtet wurde, dass die Studie auf dem Datenmaterial der Statistik Austria aufbaut, wurde für die weiteren Berechnungen von den in Tab. 11 ausgewiesenen Werten ausgegangen.

8.2 Sektor Produktion

Als Datenbasis wurde die Nutzenergieanalyse (NEA) Tirol 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017) herangezogen. Ein Abgleich mit Energieversorgungs- und -bedarfsdaten aus anderen Quellen (Emissionskataster, Strom- und Gasbezugsdaten der Tiroler Energieversorger) wurde durchgeführt, allerdings ist aufgrund unvollständiger Erhebungsdaten bzw. unscharfer Abtrennung zwischen produzierendem Gewerbe und Dienstleistungsgewerbe keine eindeutige Zuordnung bzw. kein zufriedenstellender Abgleich möglich. Aus diesem Grund basieren alle Annahmen, Prognosen und Szenarien ausschließlich auf der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria.

Für die Bilanzierung des Bereichs Produktion werden gemäß Statistik Austria folgende Zuordnungen nach NEA 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017) bzw. Aufteilungen in der Beschreibung und Bilanzierung getroffen:

- Der Energiebedarf bzw. dessen Entwicklung in den Bereichen „Heizwärme, Warmwasser und Beleuchtung/EDV“ wird aus dem Sektor Sonstiges übernommen.
- Der Energiebedarf bzw. dessen Entwicklung im Bereich „Kfz“ wird aus dem Sektor Mobilität übernommen.
- Der Prozessenergiebedarf der Öffentlichen und Privaten Dienstleistungen und der Landwirtschaft (Dampferzeugung, Industrieöfen, Standmotoren, Elektrochemische Zwecke) wird dem Sektor Sonstiges weitergegeben.

Die in der Datenbasis ausgewiesenen Sektoren wurden mit der Tiroler Betriebsstruktur abgeglichen und daraus für jede Sparte die branchenüblichen Verbraucher abgeleitet. Diese Verbraucherstruktur diente als Basis für Überlegungen hinsichtlich möglicher Energieeffizienzmaßnahmen bzw. möglicher Substitutionsszenarien.

Abb. 11 zeigt die Energieträgerverteilung auf Endenergiebasis für den Sektor Produktion für das Jahr 2016, die in dieser Studie verwendet wurde. Insgesamt beträgt der Endenergiebedarf des Sektors Produktion 20.836 TJ. Das entspricht knapp 24 % des gesamten Endenergiebedarfs.

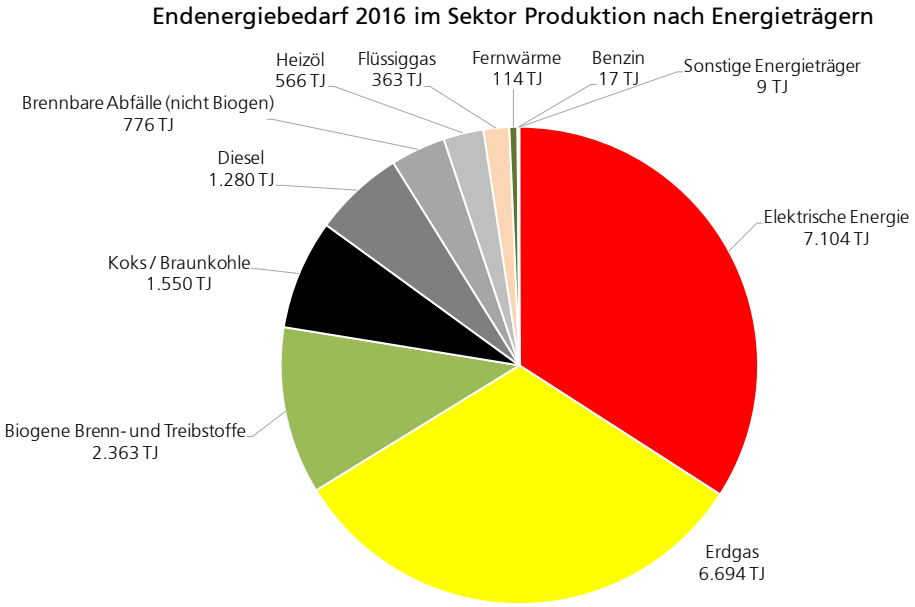


Abb. 11: Endenergiebedarf des Sektors Produktion, Tirol 2016 nach Energieträger.

Tab. 12 fasst den Gesamtenergiebedarf der einzelnen, in der Statistik Austria ausgewiesenen Sektoren gruppiert nach Nutzenergiekategorie zusammen. Aus dieser Aufstellung geht hervor, dass folgende Hauptverbraucher in der Tiroler Produktionsstruktur vorherrschen:

- Dampferzeugung (rund 12 %) wird vorwiegend in der Chemischen Industrie, der Papierindustrie sowie in der Holzverarbeitung (Trocknen/Dämpfen von Parkettholz) benötigt.
- Industrieöfen stellen mit knapp 32 % die größte Bedarfsklasse dar. Die vorherrschende Branche ist dabei „Steine, Erden, Glas“, wo in Tirol mit zahlreichen Großbetrieben ein starker Industriezweig etabliert ist. Ebenso stellen die Nichteisen-Metallindustrie sowie die holzverarbeitende Industrie wesentliche Industriezweige in Tirol dar.
- Die Kategorie „Standmotoren“ stellt mit rund 30 % ebenfalls einen der Haupt-Bedarfsklassen dar. Diese verteilen sich relativ gleichmäßig über sämtliche Branchen. In diese Kategorie fallen sämtliche Aggregate zur Erzeugung von Druckluft, Pumpen, Transportsysteme, Not- bzw. Baustromaggregate etc.

- Mit 5,4 % des Gesamtenergiebedarfs stellt auch die Trocknung einen größeren Verbraucher dar – diese wird vorwiegend in der holzverarbeitenden Industrie eingesetzt.
- Nicht in der Tabelle ausgewiesen, da nicht im Rahmen des Sektors Produktion, sondern im Rahmen des Sektors Sonstiges / Gebäude betrachtet, sind die Bereiche Heizung/Klimatisierung/ Beleuchtung mit gesamt etwa 18 %.
- Ebenfalls nicht in der Tabelle ausgewiesen sind die „sonstige Verbraucher", die etwa 2,5 % der Gesamtenergie benötigten. Diese Energieverbraucher sind technologisch nicht zuordenbar und werden im weiteren Verlauf daher nur aliquot hochgerechnet.

Tab. 12: Endenergiebedarf 2016 nach Nutzungskategorien (Auszug) in den einzelnen Sektoren.

	Dampferzeugung		**Industrieöfen**		**Standmotoren**		**Trocknung**	
	[TJ/a]	%	[TJ/a]	%	[TJ/a]	%	[TJ/a]	%
Eisen-, Stahlerzeugung	2	0,01%	293	1,41%	31	0,15%	0	<0,01%
Chemie, Petrochemie	1.024	4,92%	384	1,85%	1.113	5,34%	0	<0,01%
Nichteisenmetalle	3	0,02%	1.095	5,26%	645	3,10%	0	1,03%
Steine, Erden, Glas	54	0,26%	3.008	14,44%	780	3,74%	0	0,30%
Fahrzeugbau	0	<0,01%	4	0,02%	12	0,06%	0	<0,01%
Maschinenbau	1	0,01%	557	2,67%	369	1,77%	26	<0,01%
Bergbau	63	0,30%	20	0,09%	38	0,18%	0	<0,01%
Nahrungs-, Genussmittel	304	1,46%	160	0,77%	303	1,45%	0	0,05%
Papier und Druck	775	3,72%	95	0,45%	282	1,36%	0	0,01%
Holzverarbeitung	252	1,21%	766	3,68%	1.179	5,66%	0	3,97%
Bau	1	<0,01%	174	0,84%	1.117	5,36%	0	0,01%
Textil und Leder	7	0,04%	14	0,07%	86	0,41%	0	<0,01%
Sonstige	33	0,16%	91	0,43%	278	1,33%	0	0,03%
Gesamt	2.520	12,10%	6.661	31,97	6.234	**29,92**	26	**5,40%**

Quelle: STATISTIK AUSTRIA (2017).

Die Aufteilung der Sekundärenergieträger, die für die Bereitstellung der gesamten Endenergie exkl. Gebäude- und Kfz-Bereich benötigt werden, ist in Abb. 12 dargestellt.

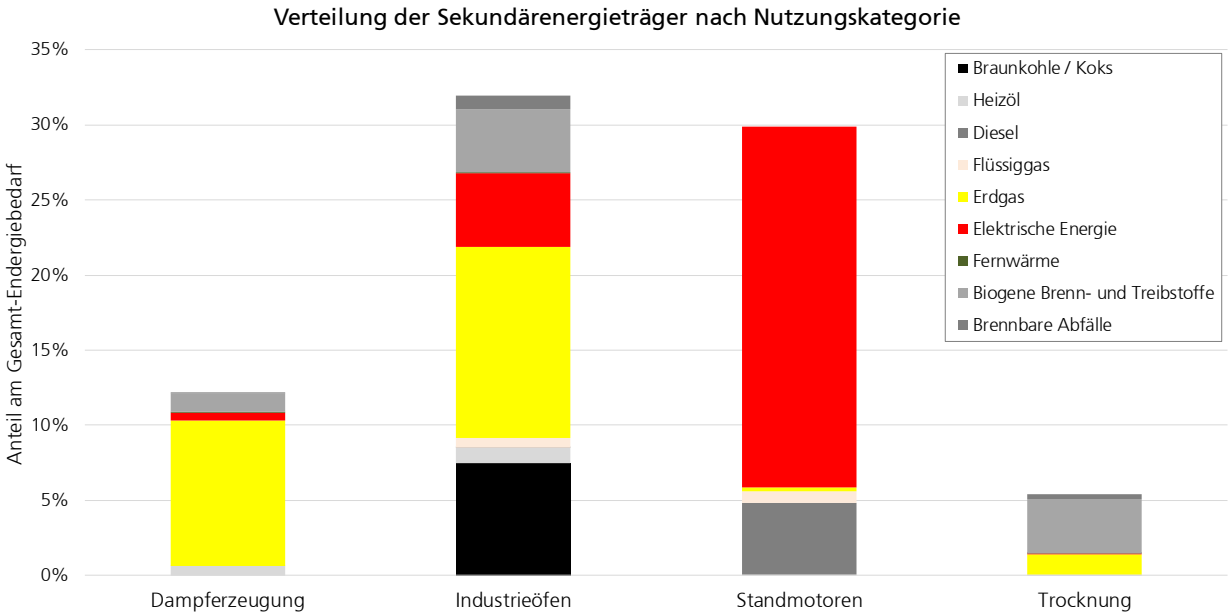


Abb. 12: Verteilung der Sekundärenergieträger am Endenergiebedarf (alle Sektoren).

Daraus geht hervor, dass vor allem in den energieintensiven Prozessen der Einsatz von fossilen Energieträgern vorherrscht.

- Für die Dampferzeugung wird vorwiegend Erdgas eingesetzt. Ausnahme ist der Dampfbedarf in der holzverarbeitenden Industrie – hier wird dieser meist aus Reststoffen aus dem Produktionsprozess erzeugt.
- In Industrieöfen werden ebenfalls vorwiegend fossile Energieträger genutzt. Im Bereich der metallverarbeitenden Industrie muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass Kohle bzw. Koks nicht ausschließlich zur Energieerzeugung, sondern auch stofflich als Reduktionsmittel eingesetzt werden. Dies ist bei allfälligen Substitutionsszenarien zu berücksichtigen.
- Standmotoren werden bereits zu einem sehr hohen Teil mit Strom betrieben. Diesel wird vor allem in der Baubranche für netzferne Aggregate eingesetzt.
- Für die Trocknung wird bereits ein hoher Anteil an biogenen Brenn- und Treibstoffen eingesetzt. Dies ist in erster Linie durch die Verwendung von Resthölzern in der holzverarbeitenden Industrie bedingt.

Die Zuordnung der Energiedienstleistungen zu den Endenergie-Kategorien ist Tab. 13 zu entnehmen.

Tab. 13: Zuordnung der Energiedienstleistung zu Endenergie-Kategorien.

Endenergie-Kategorie	**Energiedienstleistung**
Raumheizung	Heizwärme < 100°C
Klimaanlage	Kälte
Beleuchtung und EDV	Licht / Kommunikation
Dampferzeugung	Wärme > 100°C
Industrieöfen	Wärme > 100°C
Standmotoren	Mechanische Arbeit
Kfz	Mobilität
Sonstiges ▪ Warmwasser ▪ Kühlung ▪ Elektrochemie ▪ Trocknung ▪ weitere	 ▪ Warmwasser ▪ Kälte ▪ Mechanische Arbeit[2] ▪ Wärme > 100°C ▪ Mechanische Arbeit**)[3]

Die Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie für die jeweiligen Energiedienstleistungen weist je nach Energieträger, Technologie und Dienstleistungskategorie unterschiedliche Wirkungsgrade auf. Im Detail sind die Energiedaten der einzelnen Szenarien dem Anhang zu entnehmen, zusammenfassend sind die nach Kategorie und Energieeinsatz gewichteten Wirkungsgrade in Tab. 14 dargestellt.

[2] Elektrochemische Prozesse stellen eigentlich eine eigene Dienstleistung dar, der Anteil am Gesamtsystem ist aber dermaßen gering dass auf diese zusätzliche Kategorie verzichtet wurde. Da elektrochemische Prozesse ähnliche Wirkungsgrade wie zur Umwandlung in mechanische Arbeit aufweisen wurden sie dieser Dienstleistung zugeordnet.

[3] Die Kategorie Sonstige/weitere ist keinem Prozess eindeutig zuordenbar. Da der Endenergiebedarf hauptsächlich in der Branche „Bau“ anfällt und vorwiegend Dieselkraftstoff eingesetzt wird ist davon auszugehen dass es sich um netzferne Bauaggregate handelt, die am ehesten der Dienstleistung „mechanische Arbeit“ zuzuordnen sind.

Tab. 14: Wirkungsgrade des Übergangs von Endenergie zu Nutzenergie/Energiedienstleistung 2016 und Szenarien 2050.

Energieträger	Basis 2016	Szenario I	Szenario II	Szenario III/IIIa	Szenario IV
Öl	40 %	-	-	-	-
Kohle	45 %	50 %	50 %	50 %	50 %
Erdgas	64 %	-	-	-	-
Holz	60 %	68 %	68 %	68 %	68 %
Fernwärme (inkl. zentrale WP)	80 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Strom (nicht WP)	67 %	78 %	72 %	72 %	78 %
Strom (für WP)	99 %	99 %	99 %	99 %	99 %
Umweltwärme (dezentrale häusliche Anlagen)	72 %	88 %	88 %	84 %	88 %
Solarthermie	-	76 %	76 %	76 %	76 %
Biofuels (Biogas,…)	49 %	34 %	34 %	34 %	34 %
Synth. E-Träger (H_2)	-	82 %	78 %	-	-
Synth. E-Träger (CH_4)	-	-	-	75 %	81 %
Brennbare Abfälle (nicht biogen)	55 %	60 %	60 %	60 %	60 %

8.3 Sektor Sonstiges

Als Datenbasis zu den vorhandenen Wohngebäuden in Tirol dient die Gebäude- und Wohnungszählung (GWZ) 2011 (STATCUBE 2018). Bei den Nicht-Wohngebäuden werden zusätzlich Daten aus der Landesstatistik Tirol, Paket RZ2011 (ADTLR 2014) herangezogen. Eine weitere Datengrundlage stellt der Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017) dar.

Für die Bilanzierung des Sektors Sonstiges werden gemäß Statistik Austria folgende Zuordnungen nach Nutzenergieanalyse (NEA) 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017) bzw. Aufteilungen in der Beschreibung und Bilanzierung getroffen:

- Private Haushalte: Der Energiebedarf wird wie folgt ermittelt:
  - Heizwärme (Raumheizung und Klimaanlagen, NEA 2016),
  - Warmwasser (Industrieöfen und Standmotoren, NEA 2016)
  - Haushaltsstrom (EDV und Beleuchtung, NEA 2016)
- Öffentliche und private Dienstleistungen und Landwirtschaft
  - Heizwärme und Warmwasser wurden aus Raumheizung und Klimaanlagen (NEA 2016) entsprechend 87,5 % für die Raumheizung und 12,5 % für Warmwasser aufgeteilt.
  - Als zusätzliche Detaillierung werden aus Daten der Statistik Austria Hotels und ähnliche Gebäude noch separat im Anhang ausgewiesen, da diese einen signifikanten Anteil in Tirol

darstellen.

- Industrielle Gebäude werden an den Sektor Produktion weitergegeben.
- Aus dem Sektor Mobilität wird der Energiebedarf für die Traktion der Landwirtschaft übernommen.
- Der Prozessenergiebedarf der Öffentlichen und Privaten Dienstleistungen und der Landwirtschaft (Dampferzeugung, Industrieöfen, Standmotoren, Elektrochemische Zwecke) wird aus dem Sektor Produktion übernommen.

Die Anzahl der Gebäude für die jeweiligen Bauperioden sowie die Nettogrundflächen stammen aus der Registerzählung 2011 (STATCUBE 2016). Über den Faktor 0,8 wird aus der angegebenen Nettogrundfläche die Bruttogrundfläche ermittelt. Die Daten für die Wohn- und Nichtwohngebäude können Tab. 15 und Tab. 16 entnommen werden.

Abb. 13 zeigt die Energieträgerverteilung für den Sektor Sonstiges für das Jahr 2016, die in dieser Studie verwendet wurde. Insgesamt beträgt der Endenergiebedarf des Sektors Sonstiges 35.808 TJ. Durch die verfeinerte Aggregation und Anpassung der Werte aus DOBLER et al. (2017) ergeben sich geringfügige Unterschiede zur Nutzenergieanalyse 2016 mit 35.843 TJ (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 15: 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

Datengrundlage: STATCUBE (2018)

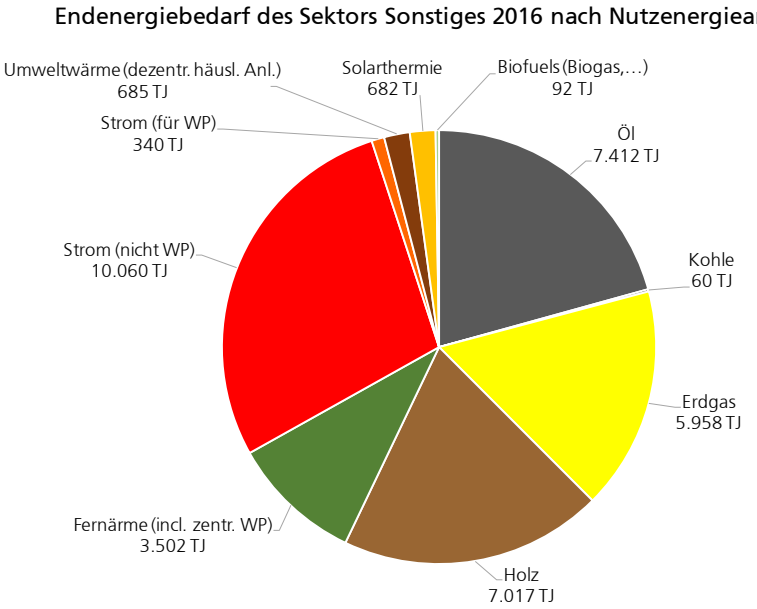
* EFH: Einfamilienhaus und Reihenhaus => 1 freistehende bzw. 1 Wohneinheit
MFH-K: Mehrfamilienhaus-Klein => 2-10 Wohneinheiten
MFH-G: Mehrfamilienhaus-Groß = > 10 Wohneinheiten

Tab. 16: Datenbasis Nicht-Wohngebäude.

Bauperiode	MN*		GW*		WN*	
	Anzahl Gebäude	Konditionierte Brutto-Grund-fläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	Konditionierte Brutto-Grund-fläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	Konditionierte Brutto-Grund-fläche 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

Datengrundlage: STATCUBE (2018)

* MN: Mischnutzung => Gebäude mit mind. zwei verschiedenen Nutzungsarten, z.B. Hotels und ähnliche Gebäude
WN: Weitere Nutzung => Industrie- und Lagergebäude
GW: Gewerbe => alle weiteren betrachteten Nicht-Wohngebäude wie Büro, Verkaufsstätte oder Beherbergung, Kultur, Freizeit, etc.



Grundlage: STATISTIK AUSTRIA (2017).

Abb. 13: Endenergiebedarf des Sektors Sonstiges, Tirol 2016 nach Nutzenergieanalyse.

8.4 Gesamtbetrachtung 2016

Gemäß Abb. 14 betrug der Endenergiebedarf im Jahre 2016 nach Zahlen der Statistik Austria 87.280 TJ und lag damit fast gleich hoch wie im Jahre 2005 (STATISTIK AUSTRIA 2017). 41 % davon entfallen auf den Sektor Sonstiges, 35 % auf den Sektor Mobilität und die verbleibenden 24 % auf den Sektor Produktion. Bei der Überführung der Endenergie in Nutzenergie sind Verluste in Höhe von 43 % zu verzeichnen, die ganz überwiegend im Sektor Mobilität durch den Einsatz von herkömmlichen Verbrennungsmotoren anfallen.

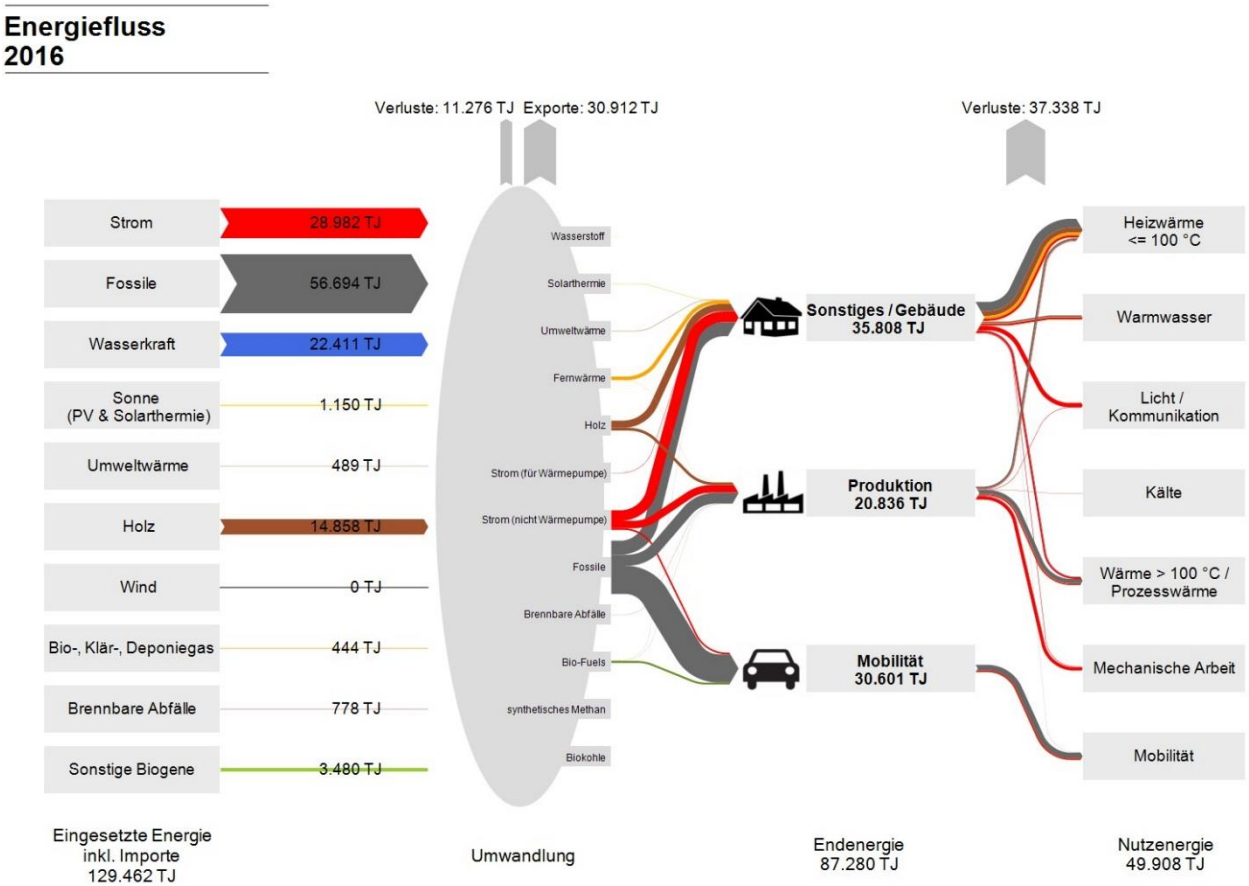


Abb. 14: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse in Tirol 2016.

Abb. 14 zeigt weiter die hohe Abhängigkeit Tirols von fossilen Energieträgern zur Deckung des Bedarfs. So werden allein 40.614 TJ an Ölprodukten sowie 14.426 TJ Erdgas und 1.821 TJ Kohle nach Tirol importiert. Zusätzlich werden rund 29.000 TJ an Strom importiert, der allerdings zu Zeiten von Stromüberschuss in annähernd gleicher Größenordnung auch exportiert wird. Am Endenergieeinsatz sind rund 37.300 TJ an Ölprodukten – das sind 43 % des gesamten Endenergieeinsatzes – beteiligt. Der Anteil Fossiler am Endenergieeinsatz macht rund 59 % aus. Weitere wesentliche Energieträger zur Deckung des Endenergiebedarfs sind Strom mit 22 % sowie Holz 9 %.

Zur Erzeugung bzw. Bereitstellung der benötigten Endenergie wurden im Jahr 2016 rund 23.432 TJ Strom als Sekundärenergie benötigt, 96 % davon oder 22.411 TJ wurden in Tiroler Wasserkraftwerken erzeugt. Um die Versorgung des Landes mit Strom sicherzustellen, war der Import von rund 28.982 TJ Strom notwendig. 29.429 TJ an Strom wurden im Jahr 2016 exportiert, sodass im Jahressaldo ein leichter Stromüberschuss in Höhe von rund 447 TJ resultierte.

Für importierte Energieträger wie z.B. Biofuels (rund 1.635 TJ) wurden keine „Ausgleiche" bilanziert. Die zur Erzeugung der Biofuels notwendige Energie wird demnach in den Bilanzen der Statistik Austria (STATISTIK AUSTRIA 2017) nicht in Tirol ausgewiesen, sondern dort, wo die Erzeugung tatsächlich stattfindet, unabhängig vom Ort der Bedarfsdeckung. Für die Erzeugung der Biofuels wären rund 8.000 TJ Strom nötig, der nicht in der Tiroler Energiebilanz abgebildet ist.

9 BETRACHTETE SZENARIEN 2050

9.1 Szenario I - „Strom-Szenario“

Generelle Beschreibung des Szenarios

Die Grundannahme dieses Szenarios ist, dass Strom aufgrund der vielfältigen Erzeugungsmöglichkeiten aus Erneuerbaren Energieträgern (Wasserkraft, Photovoltaik, Wind, KWK aus Biomasse oder Biogas), der einfachen Transportierbarkeit und der effizienten Nutzung bei den Verbrauchern (Wärmepumpen für Heizung, Warmwasser und Niedertemperatur-Prozesswärme; Elektromobilität mit einem wesentlich höheren Wirkungsgrad als der heutige Verbrennungsmotor) der dominante Endenergieträger sein wird. Auch in der Industrie wird Prozesswärme in diesem Szenario primär über Strom erzeugt.

Sektor Mobilität

In diesem Szenario werden der gesamte Straßenverkehr und der Bahnverkehr mit direkter Stromnutzung (Batterie bzw. Oberleitung) angenommen. Ausgenommen ist nur die Zillertalbahn, bei der Wasserstoff als Endenergieträger festgelegt ist. Auch für die Binnenschifffahrt wird Strom als Endenergieträger angenommen. Nur im Flugverkehr wird – nach Rücksprache mit dem Flughafen Innsbruck – auch 2050 noch flüssiger Treibstoff vorausgesetzt, da alternative Antriebskonzepte derzeit noch unrealistisch erscheinen. Es wird aber von einer Effizienzsteigerung ausgegangen, die einen Anstieg des Flugverkehrs kompensiert. Da auch dieser Treibstoff aus erneuerbarer Energie gewonnen werden soll, wird davon ausgegangen, dass dieser aus Strom (Power2Fuel) außerhalb Tirols erzeugt und importiert wird. Im Sinne der Autonomie wird im Gegenzug in der Bilanz eine entsprechende Strommenge für den Export vorgesehen.

Sektor Produktion

Wie bei allen Szenarien wird eine massive Effizienzsteigerung in der Anwendung angenommen, die den Mehrbedarf durch die Steigerung der Produktionsleistung überkompensieren muss. Im Szenario „Strom“ wird jede technisch mögliche Produktionstechnologie auf diesen Energieträger umgestellt. Prozesse, bei denen eine Umstellung nicht möglich ist, da eine Flamme benötigt wird (z.B. im Drehrohrofen bei der Zementerzeugung), werden aufgrund der höheren Effizienz in der Herstellung mit Wasserstoff betrieben. 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 Kapitel 10.3 zu entnehmen.

Sektor Sonstiges

Für alle Szenarien wird von einer hochwertigen thermischen Sanierung ausgegangen, die den gesamten Heizwärmebedarf bis 2050 in etwa halbiert. Aufgrund des konstant angenommen Warmwasserbedarfs und dem nur gering sinkenden Strombedarf kann eine gesamte Einsparung am Endenergiebedarf von

31,7 % bis 2050 erreicht werden. Beim Tausch des Wärmeerzeugers werden hauptsächlich Wärmepumpen eingesetzt, da dies die effizienteste Nutzung von Strom darstellt. Gas und Öl werden 2050 in diesem Szenario nicht mehr verwendet. Die weiteren Annahmen für den Sektor Sonstiges werden in Kap. 10 und im Anhang (Kap. 16.3) detailliert beschrieben.

9.2 Szenario II - „Wasserstoff-Szenario“

Generelle Beschreibung des Szenarios

In diesem Szenario wird für die Sektoren Industrie und Mobilität ein gewisser Anteil an Wasserstoff zur Prozesswärme und für den Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen angesetzt. Grund hierfür ist die einfachere Speicherbarkeit von Wasserstoff gegenüber Strom-Saisonspeichern. Der Wirkungsgrad der Wasserstofferzeugung wird mit 50 % von Power-to-H_2 angesetzt (Kap. 10.1).

Sektor Mobilität

Dieses Szenario unterscheidet sich von Szenario I nur dadurch, dass im Straßenverkehr die Nutzfahrzeuge (LKW und Busse) mit Wasserstoff als Endenergieträger angenommen werden. PKW und Lieferwagen werden wie in Szenario I weiterhin mit direkter Stromnutzung (batterieelektrische Fahrzeuge BEV) angenommen, da für diese Fahrzeuge die Umstellung auf Wasserstoff auch vor dem Hintergrund der Auswirkung des erhöhten Energiebedarfs für die Wasserstoffherstellung auf die Gesamtenergiebilanz als weniger zweckmäßig eingeschätzt wird.

Sektor Produktion

In diesem Szenario findet gegenüber dem Jahr 2016 nur eine geringe Erhöhung der Elektrifizierung von Aggregaten zur Dampferzeugung, der Industrieöfen und der Trocknung statt. Diese werden hauptsächlich vom derzeitigen Erdgasbetrieb auf den Betrieb mit Wasserstoff umgestellt. Ausgenommen bleiben die Anwendungen, die bereits 2016 mit biogenen Energieträgern sowie brennbaren Abfällen betrieben wurden sowie die Substitution von Kohle durch Biokohle. Es wird davon ausgegangen, dass ein Teil des Wasserstoffs on-demand erzeugt wird, um die völlig neu zu errichtende Wasserstoff-Infrastruktur sowie die – derzeit bei Wasserstoff im Vergleich zu Erdgas noch höheren Verluste durch Speicherung und Transport – so gering wie möglich zu halten. Die speziellen Annahmen bzw. Rahmenbedingungen sind Kap. 10.3 zu entnehmen.

Sektor Sonstiges

Da eine Verteilung und die dezentrale Nutzung von Wasserstoff nicht als wahrscheinlich angesehen werden, werden im Sektor Sonstiges für Gebäude die gleichen Annahmen wie in Szenario I (Strom-Szenario) angesetzt. In der Landwirtschaft und bei der Prozesswärme bei den öffentlichen und privaten Dienstleistungen kommt Wasserstoff in gewissen Ausmaß zum Einsatz.

9.3 Szenario III - „Methan-Szenario“

Generelle Beschreibung des Szenarios

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass über Power-to-Gas – also die Herstellung eines Brenngases aus Wasser mittels Wasserelektrolyse mit nachgeschalteter Methanisierung unter Einsatz elektrischen Stroms – Methan in großem Stil eingesetzt wird. Die bestehenden Gasnetze bleiben in vollem Umfang erhalten und werden über Power-to-Gas betrieben, die Mobilität wird über gasbetriebene Verbrennungsmotoren abgewickelt. Hintergrund dieses Szenarios ist die weitere Verwendung der vorhandenen Gasinfrastruktur und die gegenüber Strom und Wasserstoff wesentlich einfachere Speicherbarkeit von Methan in Saisonspeichern. Der Wirkungsgrad der Methanerzeugung mit Wasserstofferzeugung aus Elektrolyse und Kohlenstoffgewinnung aus der Atmosphäre wird mit 35 % von Power-to-Gas angesetzt (Kap. 10.1).

Sektor Mobilität

Dieses Szenario unterscheidet sich von Szenario I dadurch, dass im Straßenverkehr die Nutzfahrzeuge (LKW und Busse) zur Gänze sowie PKW und Lieferfahrzeuge zu 50 % mit Methan als Endenergieträger angenommen werden. Die weiteren 50 % der PKW und Lieferwagen werden wie in Szenario I weiterhin mit direkter Stromnutzung (batterieelektrische Fahrzeuge BEV) angenommen, da für diese Fahrzeuge die vollständige Umstellung auf Methan auch vor dem Hintergrund der Auswirkung des erhöhten Energiebedarfs in der Power-to-Gas-Herstellung auf die Gesamtenergiebilanz als weniger zweckmäßig eingeschätzt wird.

Sektor Produktion

In diesem Szenario werden die gleichen Rahmenbedingungen wie im Szenario „Wasserstoff“ angesetzt mit dem Unterschied, dass anstelle von Wasserstoff synthetisches Methan herangezogen wird. Die Produktion des Methans erfolgt aufgrund der komplexen Anlagentechnik nicht on-demand in den Betriebsstätten selbst, sondern an zentralen Stellen und wird über die bestehende Erdgas-Infrastruktur verteilt. Die speziellen Annahmen bzw. Rahmenbedingungen sind Kapitel 10.3 zu entnehmen.

Sektor Sonstiges

Alle Gebäude, die im Jahre 2016 mit Gas versorgt wurden (entspricht 16 % des Endenergiebedarfs), werden in diesem Szenario auch im Jahr 2050 mit Gas versorgt. Aufgrund der thermischen Sanierung sinkt der Gasbedarf allerdings hierdurch um 28 %. Die restlichen Annahmen sind ident mit denen des Szenario I (Strom-Szenario).

9.4 Szenario IIIa – “adaptiertes Methan-Szenario“

Generelle Beschreibung des Szenarios

Dieses Szenario ist ident mit Szenario III, außer dass in der Mobilität kein Methan zum Einsatz kommt, sondern für die Mobilität die Annahmen des Szenarios II herangezogen werden. Hintergrund ist, dass zwar sowohl Wasserstoff als auch Methan eine Speichermöglichkeit aufweisen, die Wirkungsgrade von Wasserstoff aber sowohl in der Herstellung, vor allem aber in der Umsetzung im Fahrzeug, deutlich günstiger sind.

9.5 Szenario IV – „Energiemix-Szenario“

Generelle Beschreibung des Szenarios

Szenario IV geht von einem Mix an verschiedenen Umwandlungstechnologien für 2050 aus. Es liegt die Überlegung zugrunde, dass es immer Fälle geben wird, wo die eine oder andere Technologie nicht umgesetzt werden kann. Dieses „Risiko“ soll in diesem Szenario durch eine größere Vielfalt an angesetzten Technologien abgefedert werden.

Sektor Mobilität

Dieses Szenario geht im Mobilitätsbereich von Szenario II aus. Der Anteil des Wasserstoffs wird in Hinblick auf die Gesamtenergiebilanz (inkl. Erzeugung des Wasserstoffs) etwas reduziert. Neben PKW und Lieferwagen wird auch bei Bussen und 30 % der LKW-Fahrleistung von direkter Stromnutzung ausgegangen. Wasserstoff wird daher nur für 70 % LKW-Fahrleistung und – wie in allen anderen Szenarien – bei der Zillertalbahn eingesetzt.

Sektor Produktion

Dieses Szenario ist ident mit Szenario I (Strom-Szenario), jedoch wird anstelle von Wasserstoff Methan eingesetzt. Um den hohen Energieeinsatz in der Produktion von Methan kompensieren zu können, müssen so viele Technologien wie möglich auf Strom umgestellt werden. Der Rest, der technologisch bedingt nicht umstellbar ist, wird mit synthetischem Methan unter Nutzung der vorhandenen Erdgas-Infrastruktur versorgt. Die speziellen Annahmen bzw. Rahmenbedingungen sind Kap. 10.3 zu entnehmen.

Sektor Sonstige

Von den Gebäuden, die im Jahre 2016 mit Erdgas versorgt wurden, werden 15 % auch im Jahre 2050 mit Methan versorgt. Es wird davon ausgegangen, dass nicht alle bestehenden Heizungen durch Wärmepumpen, Fernwärme oder Biomasse ersetzt werden können. Daraus ergibt sich ein Anteil von Methan am Endenergiebedarf des Sektors „Sonstiges“ von 2,65 % im Jahr 2050. Die restlichen Annahmen sind ident mit denen des Szenario I (Strom-Szenario).

10 ENERGIESYSTEM 2050 – METHODIK UND ANNAHMEN

Soll das formulierte Ziel einer Energieautonomie mit heimischen Ressourcen erreicht werden, muss das gesamte Energiesystem bis 2050 umgestellt werden. Hierfür werden in der globalen Energiepolitik derzeit mehrere grundsätzliche Konzepte diskutiert, die im Rahmen der gegenständlichen Studie auf den – für 2050 prognostizierten Tiroler Energiebedarf – angewendet werden. Da Tirol über hohe Ressourcen zur Bereitstellung von Strom aus Erneuerbaren Quellen (Wasserkraft und PV) verfügt, Ressourcen für stoffbasierende Energieträger aber kaum vorhanden sind, werden stoffliche Energieträger ebenfalls durch Strom im Land erzeugt. Die grundsätzlichen Energieversorgungskonzepte, die für Tirol aufgrund der vorhandenen Ressourcen prinzipiell anwendbar sind, basieren daher auf Elektrizität als direkte Endenergiequelle sowie Power-to-Gas-Systemen (PtG-Wasserstoff und PtG-Methan).

Für die Prognose des Energiebedarfs 2050 wurde angenommen, dass sowohl die Bevölkerung als auch die Wirtschaft einem Wachstum unterliegen. Eine Folge davon ist, dass der Nutzenergiebedarf weiter steigen wird. Dieser wurde ausgehend vom Nutzenergiebedarf in 2016 (Daten Statistik Austria) hochgerechnet und bildet somit die Basis für alle weiteren Betrachtungen. In allen vorgestellten Szenarien wurde dieser Nutzenergiebedarf 2050 bzw. die daraus resultierende Energiedienstleistung konstant gehalten, um eine Vergleichbarkeit des dafür notwendigen Energieeinsatzes zu gewährleisten.

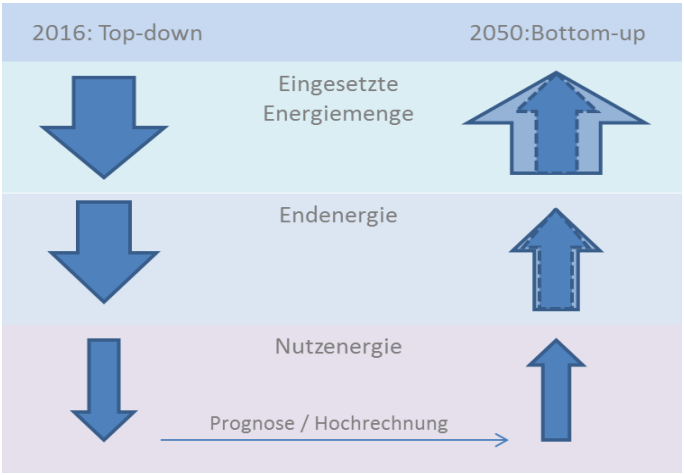


Abb. 15: Schematische Darstellung des „Top-down-Bottom-up“-Ansatzes zur Szenarien-Berechnung.

Ausgehend vom Nutzenergiebedarf 2050 wurde auf den dafür notwendigen Endenergiebedarf (und in weiterer Folge auch den Sekundär- und Primärenergiebedarf) zurückgerechnet. Daraus resultiert ein „Top-Down-Bottom-up“-Ansatz, der in Abb. 15 schematisch dargestellt ist.

Bei der Hochrechnung für 2050 wurden Effizienzsteigerungen sowie Technologieänderungen auf Basis des aktuellen Stands des Wissens berücksichtigt bzw. hochgerechnet, wobei in den Prognosen konservativ-

ambitioniert vorgegangen wurde. Konservativ bedeutet, dass die angesetzten Maßnahmen technisch auch heute schon umsetzbar wären (z.B. Gebäudestandards, Elektromobilität, hocheffiziente Prozesse in der Produktion). Ambitioniert sind die Maßnahmen deshalb, weil für die notwendige flächendeckende Umsetzung der Maßnahmen derzeit die sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen noch nicht geschaffen sind.

Um den Einfluss der einzelnen Energieversorgungskonzepte Strom, PtG-Wasserstoff und PtG-Methan auf die zu schaffenden Rahmenbedingungen in der Bereitstellung von Sekundärenergie darstellen zu können, wurden ausgehend vom Nutzenergiebedarf 2050 drei Grenzwert-Szenarien berechnet (Szenario I bis Szenario III). Mit diesen Grenzwert-Szenarien soll verdeutlicht werden, welche Auswirkungen eine jetzt zu treffende Grundsatzentscheidung auf das Energiesystem in 2050 hat. Zusätzlich wurde noch ein "adaptiertes" Methan-Szenario sowie ein „gemäßigtes" Szenario betrachtet, in dem ein Mix aus den genannten Versorgungskonzepten abgebildet wird.

10.1 Wirkungsgrade und Verteilverluste Sekundär- bis Endenergie

Innerhalb der in Kap. 5.1 definierten Systemgrenze erfahren die Primärenergieträger mehrere Umwandlungsschritte bzw. Transportwege, bis die jeweilige Nutzenergie am Verbraucher zur Verfügung steht. In den nachfolgenden Kapiteln werden die angewendeten Technologien sowie deren Umwandlungs- und Transportverluste dargestellt, wobei besonders auf die neu zu etablierenden Umwandlungstechnologien zur Wasserstoff- und Methanproduktion eingegangen wird.

10.1.1 Übersicht der Umwandlungstechnologien

Tab. 17 fasst die Umwandlungstechnologien von Primär- zu Sekundärenergie zusammen. Die angesetzten Wirkungsgrade entsprechen dabei dem aktuellen Stand der Technik. Es kann davon ausgegangen werden, dass – wenn es zu keinem Technologiesprung kommt – die Wirkungsgrade zukünftig nur noch marginal erhöht werden können.

Tab. 17: Übersicht der Umwandlungstechnologien und deren Wirkungsgrade.

Primärenergie	Technologie	Sekundär-Energie	Wirkungsgrad Umwandlung	Bemerkung
Wasserkraft	Lauf- und Speicher-kraftwerke	Strom	–	vgl. STATISTIK AUSTRIA (2017)
	Pumpspeicher-kraftwerke	Strom	76%	vgl. Mitt. TIWAG, Verbund
Sonnenenergie	Photovoltaik	Strom	13%	Kristalline Zellen
	Solarthermie	Wärme	30%	Flachkollektoren
Windenergie	Windkraft	Strom	–	vgl. Windpotenzialstudie Tirol
Holzbiomasse	Heizwerk	Wärme	90% $_{th}$	
	KWK	Strom, Wärme	25% $_{el}$ 55% $_{th}$	Dezentrale Holzvergasungs-anlagen mit BHKW
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% $_{th}$	

Für die Erstellung der Szenarien 2050 wurden die Leitungs- und Verteilverluste auf 10 % für Strom sowie auf 20 % für Nah- und Fernwärme angesetzt.

Die Leitungs- und Verteilverluste für Wasserstoff wurden auf 10 % (7-8 % für Kompression sowie 2-3 % für Diffusion), für Methan auf 3 % (2 % für Kompression und 1 % für Diffusion) angesetzt. Vor allem für Wasserstoff sind die tatsächlichen Leitungs- und Verteilverluste im Wesentlichen abhängig von der Druckstufe und der Leitungslänge. Die tatsächlichen Verluste können demnach höher oder niedriger liegen.

10.1.2 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 50 bis 70 % (LETCHER 2016, SMOLINKA et al. 2011, STEINMÜLLER et al. 2014). Hinzu kommen noch Verluste für Speicherung und Transport, die je nach Dauer der Speicherung und Art des Transportes stark variieren können. Belastbare Daten hierzu sind in der Literatur kaum zu finden und müssen projektspezifisch abgeschätzt werden (STERNER et al. 2014, TÖPLER et al. 2017).
Werden Hochtemperatur-Elektrolyseure eingesetzt, kann auch Abwärme auf Hochtemperatur-Niveau

ausgekoppelt werden (TRIMIS et al. 2014), allerdings wird für den Betrieb dieser Elektrolyseure auch Eingangswärme von bis zu 800°C benötigt. Dieser Anlagentyp ist sinnvoll, wenn industrielle Abwärme auf diesem Temperaturniveau zur Verfügung stehen würde. Solche Anlagen wären in Tirol betriebsintern zur on-demand-Erzeugung von Wasserstoff durchaus sinnvoll, für den Aufbau einer gesamten Wasserstoff-Infrastruktur in der benötigten Größenordnung aber nur bedingt geeignet. Der derzeitige Stand der Technik von Elektrolyseuren in nennenswerten Größenordnungen sind durchwegs Niedertemperatur-Systeme (AEL, PEM-EL-Systeme), die ein Temperaturniveau von rund 70-80°C benötigen. Eine Nutzung der Abwärme könnte ausschließlich in einem Niedertemperatur-Wärmenetz erfolgen, allerdings ist auch hier eine sehr komplexe Gesamtinfrastruktur notwendig, welche in den vorliegenden Szenarien nicht betrachtet wurde.

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

- Bezugsgröße des Wasserstoffs: Heizwert (3 kWh/m³)
- Systemwirkungsgrad von 60 % beinhaltet folgende Annahmen:
  - Wasserstofferzeugung durch Niedertemperatur-Elektrolyse (keine Abwärme-Auskopplung)
  - Energiebedarf für Nebenaggregate und Gasaufbereitung wurde berücksichtigt
  - Wirkungsgradeinbußen durch Teillastbetrieb
- Gemittelte Verluste für unterschiedliche Transport- und Speichervarianten rund 15 %-Punkte
  - Kompression auf 200 - 700 bar (Transport mittels Flaschenbündel),
  - Kompression auf 60 bar (Transport mittels Pipeline),
  - Verflüssigung des Wasserstoffs (Transport mittels Kryotanks),
  - Speicherverluste für kurz- bis mittelfristige Speicherung.

Daraus ergibt sich ein gemittelter Systemwirkungsgrad von 45 % für eine dezentrale Wasserstoff-Infrastruktur.

10.1.3 Power-to-Gas: 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 CO_2 und elektrische Energie für die Aufbereitung des Produktgases bis zur Einspeisung in ein Gasnetz benötigt werden. Aus dem Methanisierungsprozess kann Wärme für die Desorption von CO_2 zurückgewonnen werden, was die Energiebilanz des Systems verbessert. Je nach System und betrachteten Systemgrenzen werden für die Umwandlung von Strom in synthetisches Methan Wirkungsgrade zwischen 30 und 75 % publiziert (STERNER et al. 2014, TRIMIS et al. 2014, STEINMÜLLER et al. 2014). Der gesamte Prozess mit allen vorgelagerten Prozessen ist sehr komplex und die Systemgrenzen bei der Betrachtung der Wirkungsgrade nicht immer klar definiert, weshalb die Wirkungsgrade im unteren Bereich zwischen 30 und 50 % wesentlich realistischer anzusehen sind.

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

- Bezugsgröße des Methans: Heizwert (10 kWh/m³)
- Systemwirkungsgrad von 43 % (bezogen auf eingesetzten Strom) beinhaltet folgende Annahmen:
  - Wasserstofferzeugung durch Niedertemperatur-Elektrolyse (vgl. Kapitel 10.1.2),
  - CO_2-Gewinnung aus Luft (Adsorption),
  - 2-stufiger Methanisierungsprozess bei 10 bar / 300 °C,
  - Energiebedarf für Nebenaggregate und Gasaufbereitung wurde berücksichtigt,
  - Wärmerückgewinnung (Temperatur > 95 °C) aus Methanisierungsprozess für Desorption von CO_2 und Produktvorwärmung,
  - Restliche thermische Energie für den Prozess (> 95 °C) wird durch Fernwärme aus Holzbiomasse bereitgestellt,
  - Interne Kompressionsprozesse,
  - Wirkungsgradeinbußen durch Teillastbetrieb wurden berücksichtigt.
- Transport- und Speicherverluste (bestehende Gas-Pipelines) rund 3 %-Punkte

Daraus ergibt sich ein gemittelter Systemwirkungsgrad von 40 % (bezogen auf den eingesetzten Strom) bzw. 34 % (bezogen auf den gesamten Energieeinsatz) für eine dezentrale P2G-Methan-Infrastruktur.

10.1.4 Ausgleichslieferungen Importe

Für die Sektoren Produktion und Mobilität werden Bio-Treibstoffe bzw. Bio-Kohle importiert, da in Tirol die dafür notwendigen Primärressourcen nicht vorhanden sind. Für beide importierten Energieträger werden Ausgleichslieferungen an elektrischer Energie geleistet. Hierfür wurden folgende Wirkungsgrade angenommen:

- Bio-Treibstoffe (Synthetisches Flugbenzin aus Biomasse / Fischer-Tropsch-Prozess): 20 %
- Bio-Kohle (Pyrolyse von Holz bzw. holzartiger Biomasse): 83 %

10.2 Sektor Mobilität inkl. Wirkungsgrade

Die Ermittlung des Endenergiebedarfs in den unterschiedlichen Szenarien erfolgt in dieser Top-Down-Bottom-Up-Betrachtung über die Nutzenergie und die Wirkungsgrade. Ausgehend vom in der Nutzenergieanalyse ausgewiesenen Endenergiebedarf von 30.601 TJ im Jahr 2016 wird über die Wirkungsgrade der einzelnen Antriebstechnologien ein Nutzenergiebedarf von ca. 7.200 TJ ermittelt.

Die Wirkungsgrade wurden dabei 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 30 % und bei Rohleitungen 90 % zugrunde gelegt.

Da eine Prämisse der Studie ist, dass die Nutzenergie weiterhin unverändert bereitgestellt wird (keine Verhaltensänderung) wird für 2050 dem Bevölkerungswachstum entsprechend ein um 11 % erhöhter Nutzenergiebedarf angenommen.

In den einzelnen Szenarien wird mit den für die verschiedenen Technologien angenommenen Wirkungsgraden der jeweilige Endenergiebedarf ermittelt. Dabei bleibt in allen vier Szenarien der Bedarf von Biotreibstoffen im Flugverkehr und des Wasserstoffes von der Zillertalbahn ebenso wie die Stromnutzung im Binnenschiffsverkehr und für den Betrieb der Rohrleitungen konstant. Im Flugverkehr wird dabei der Bedarf abweichend von der Nutzwertanalyse der Statistik Austria dem in den Betriebsdaten des Flughafens Innsbruck veröffentlichen Bedarfen angepasst. Bei den Rohrleitungen wird aufgrund des reduzierten Erdölbedarfs von einem geringeren Nutzenergiebedarf ausgegangen. Für Wasserstoff wird ein Wirkungsgrad von 60 % angesetzt.

Im Sonstigen Landverkehr werden in den Szenarien II und IIIa (im Mobilitätsbereich mit höchsten Anteilen Wasserstoff), III (Methan) und IV (Energiemix) unterschiedliche Energieträger bzw. Antriebstechnologien zu Grunde gelegt. Die Aufteilung erfolgt wie in der Beschreibung der Szenarien (Kap. 9.1 bis 9.5) dargestellt. Die Anteile der Energieträger am Energiebedarf werden dabei auf Grundlage der Fahrleistung und spezifischen Bedarfswerte einzelner Fahrzeugkategorien ermittelt. Dafür wurde auf Werte zurückgegriffen, die aus dem Tiroler Verkehrsmodell stammen und im Tiroler Energiemonitoring-Bericht 2016 (ADTLR 2017) veröffentlicht sind. Die mit dem Verkehrsmodell ermittelten Fahrleistungen der unterschiedlichen Fahrzeugarten im gesamten Straßennetz des Landes Tirol sind mit den Werten der Dauerzählstellen des Landes abgeglichen. Für die durchschnittlichen Energiebedarfe der Fahrzeugklassen wurden Werte des UMWELTBUNDESAMT (2018) angesetzt. Diese Werte wurden mit den Fahrleistungen und durchschnittlichen Bedarfswerten des Öffentlichen Busverkehrs ergänzt (Mitt. Verkehrsverbund Tirol 2018). Der auf diese Art ermittelte Gesamtenergiebedarf liegt deutlich unter dem Wert, den die Nutzwertanalyse der Statistik Austria für den Sonstigen Landverkehr ausweist. Dies ist auf Grund der unterschiedlichen Berechnungsansätze, die keinen direkten Vergleich ermöglichen, auch zu erwarten. Mit dem Verkehrsmodell wird die Energiemenge berechnet, die im Straßenverkehr im Land Tirol „verfahren“ wird. 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 die Berechnung wird diese Differenz aufgenommen und zwischen PKW und LKW im Verhältnis 15 % zu 85 % aufgeteilt. Auf dieser Grundlage wurden die Anteile der Fahrzeugklassen am Gesamtbedarf ermittelt (Tab. 18).

Tab. 18: Fahrleistung und Energiebedarf des Straßenverkehrs in Tirol.

Fahrzeugklasse	Fahrleistung [1000 km/a] gerundet	Spezifischer Energiebedarf [kWh/100km]	Energiebedarf [GWh/a]	Anteil am Energiebedarf
PKW Diesel	4.095.274	65	2.662	34,6%
PKW Benzin	2.542.737	63	1.602	20,8%
Lieferwagen Diesel	403.183	82	331	4,3%
Lieferwagen Benzin	21.667	79	17	0,2%
Reisebus	48.235	336	162	2,1%
LKW Diesel	504.166	290	1.462	19,0%
Motorräder	111.022	45	50	0,6%
Motorfahrräder	68.965	36	25	0,3%
Bus (ÖV)	36.965	400	148	1,9%
Tanktourismus PKW			185	2,4%
Tanktourismus LKW			1.047	13,6%

Datenquelle: Verkehrsmodell Tirol (2016), Mitt. VVT (2018), UMWELTBUNDESAMT (2018).

Im Wasserstoff-Szenario (II und IIIa) werden Nutzfahrzeuge (Reisebusse, LKW und Busse) auf Wasserstoff umgestellt und dafür – den ermittelten Anteilen entsprechend – ca. 37 % der Nutzenergie im Bereich Sonstiger Landverkehr angesetzt. Für die übrigen Fahrzeugarten (PKW, Motorräder, Motorfahrräder und Lieferwagen) werden entsprechend ca. 63 % der Nutzenergie der elektrischen Energie zugeordnet. Im Energiemix-Szenario (IV) beträgt das Verhältnis ca. 24 % zu 76 %. Im Methan-Szenario werden zusätzlich zu den Nutzfahrzeugen 50 % des Energiebedarfs der übrigen Fahrzeuge diesem Energieträger zugeordnet. Sein Anteil an der Nutzenergie beträgt damit ca. 69 %. Die übrigen ca. 31 % werden mit elektrischer Energie abgedeckt.

Mit diesen Ausgangswerten wurden – wie in Tab. 19 und Tab. 20 am Beispiel des Szenarios II (Wasserstoff-maximiert) dargestellt – ausgehend von der Aufteilung der Nutzenergie die Endenergiewerte für 2050 berechnet. In Tab. 21 und Tab. 22 sind die Energiewerte bzw. die Aufteilungen auf die Energieträger für alle Szenarien zusammengefasst und den Werten von 2016 gegenübergestellt.

Der Vergleich der Systemwirkungsgrade macht deutlich, dass durch die Umstellung auf direkte Nutzung der elektrischen Energie die Effizienz erhöht wird und die Verluste deutlich reduziert werden. Die Nutzung von Wasserstoff bringt am Übergang von End- zu Nutzenergie geringfügig geringere Wirkungsgrade. Im Methanszenario ist der Wirkungsgrad 2050 ähnlich niedrig wie 2016 mit den fossilen Treibstoffen. Die leichte Verbesserung ergibt sich daraus, dass 50 % der PKW in diesem Szenario mit elektrischem Antrieb angenommen wurden. Es sei schon hier angemerkt, dass sich die Unterschiede in den Wirkungsgraden verstärken, wenn die Herstellungs- und Umwandlungsprozesse in der Sekundärenergieebene berücksichtigt werden.

Bei der Bewertung der Szenarien ist auch zu berücksichtigen, dass die Entwicklung der Antriebstechnologien in einem globalen Fahrzeugmarkt nur bedingt lokal steuerbar ist. Dennoch sollte mit entsprechenden Strategien (Infrastrukturen, Anreize, Beschränkungen, Flottenzusammensetzung im direkten Einflussbereich,…) darauf abgezielt werden, in Tirol Rahmenbedingungen zu schaffen, die die Entwicklung zu einem angestrebten Szenario begünstigen.

Tab. 19: Nutzenergiebedarf des Sektors Mobilität 2050 im Szenario II nach Bereichen.

2050 Szenario II	Transport Gesamt	Eisen-bahn	Flug-verkehr	Binnen-schiff	Rohr-leitung	Sonstiger Landverkehr
Elektrische Energie	5.416 TJ	1.222 TJ		18 TJ	148 TJ	4.028 TJ
Wasserstoff	2.417 TJ	22 TJ				2.395 TJ
Biogene Treibstoffe	140 TJ		140 TJ			
Gesamt	**7.974 TJ**	**1.244 TJ**	**140 TJ**	**18 TJ**	**148 TJ**	**6.424 TJ**

Tab. 20: Endenergiebedarf des Sektors Mobilität 2050 im Szenario II nach Bereichen.

2050 Szenario II	Transport Gesamt	Eisen-bahn	Flug-verkehr	Binnen-schiff	Rohr-leitung	Sonstiger Landverkehr
Elektrische Energie	6.660 TJ	1.438 TJ		23 TJ	164 TJ	5.035 TJ
Wasserstoff	4.028 TJ	36 TJ				3.992 TJ
Biogene Treibstoffe	468 TJ		468 TJ			
Gesamt	**11.156 TJ**	**1.474 TJ**	**468 TJ**	**23 TJ**	**164 TJ**	**9.028 TJ**

Tab. 21: Nutzenergiebedarf des Sektors Mobilität 2016 und 2050.

	2016	Szenario 2050			
		I	II bzw. IIIa	III	IV
Steinkohle	1 TJ				
Diesel	4.159 TJ				
Benzin	737 TJ				
Petroleum	585 TJ				
Flüssiggas	2 TJ				
Erdgas	29 TJ				
Elektrische Energie	1.298 TJ	7.812 TJ	5.416 TJ	3.402 TJ	6.249 TJ
Wasserstoff		22 TJ	2.417 TJ	22 TJ	1.584 TJ
Methan				4.409 TJ	
Biogene Treibstoffe	377 TJ	140 TJ	140 TJ	140 TJ	140 TJ
Gesamt	**7.187 TJ**	**7.974 TJ**	**7.974 TJ**	**7.974 TJ**	**7.974 TJ**

Tab. 22: Endenergiebedarf des Sektors Mobilität 2016 und 2050.

	2016	Szenario 2050			
		I	II bzw. IIIa	III	IV
Steinkohle	2 TJ				
Diesel	20.689 TJ				
Benzin	4.886 TJ				
Petroleum	1.462 TJ				
Flüssiggas	8 TJ				
Erdgas	144 TJ				
Elektrische Energie	1.532 TJ	9.655 TJ	6.660 TJ	4.143 TJ	7.701 TJ
Wasserstoff		36 TJ	4.028 TJ	36 TJ	2.640 TJ
Methan				22.046 TJ	
Biogene Treibstoffe	1.879 TJ	468 TJ	468 TJ	468 TJ	468 TJ
Gesamt	**30.601 TJ**	**10.159 TJ**	**11.156 TJ**	**26.693 TJ**	**10.810 TJ**
Wirkungsgrad	23%	78%	71%	30%	74%

10.3 Sektor Produktion inkl. Wirkungsgrade

10.3.1 Allgemeine Annahmen

Als wirtschaftliche Entwicklungsprognose wird eine nominale Steigerung von 1,5 % pro Jahr angenommen. Die daraus resultierende Nutzenergie wird nicht gleichermaßen mit der wirtschaftlichen Entwicklungsprognose steigen. 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 Prognose der Nutzenergieentwicklung wird somit mit 0,8 % pro Jahr angenommen[4].

Um das Einsparungsziel im Bereich Produktion von -10 % bezogen auf den Wert von 2005 zu erreichen, reicht die derzeit gesetzlich vorgeschriebene Energieeffizienzsteigerung von 0,6 %/a unter der Voraussetzung der Endenergieentwicklungsprognose von 0,8 %/a nicht aus. Für die Zielerreichung müssen daher höhere Effizienzsteigerungsraten angenommen werden, die zwar als sehr ambitioniert, aber nicht gänzlich unrealistisch beurteilt werden können. Je nach Nutzenergie-Kategorie sind folgende Effizienzen anzustreben, um eine Senkung der Nutzenergie bei steigender Produktionsleistung zu erreichen:

- Dampferzeugung: Effizienzsteigerung von 0,8 %/a. Diese kann erreicht werden, wenn die künftigen Dampfkessel beim Austausch (Lebensdauer: 15 bis 25 Jahre) von Öl- bzw. Gas- auf Strombe-

[4] Vgl. Gesprächsprotokoll Stakeholder-Workshop „Produktion“ vom 22.01.2018.

trieb umgestellt werden. Zusätzlich sind in vielen Betrieben die Dampflinien veraltet bzw. ineffizient und müssten ebenfalls optimiert werden, um das Ziel zu erreichen (vgl. Faktenblatt Dampfkessel (FFE 2014)).

- Industrieöfen: Effizienzsteigerung von 0,8 %/a. Diese kann ebenfalls durch sukzessiven Austausch auf modernere, effektivere Systeme erreicht werden. Wo technologisch möglich, ist eine Umstellung auf strombetriebene Systeme durchzuführen. Zusätzliche Maßnahmen im Betrieb wie Sanierung / Optimierung der wärmeführenden Systeme bzw. Wärmerückgewinnungs- und Dämmungsmaßnahmen sind ebenfalls erforderlich (vgl. dena-Ratgeber-Reihe „Energieeffiziente Technologien für Industrie und Gewerbe“ (DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH 2018)).
- Standmotoren: Effizienzsteigerung von 1,2 %/a. Diese werden schon jetzt in hohem Maße elektrisch betrieben und weisen meist bereits eine hohe Effizienz im Aggregat selbst auf. Ein kontinuierlicher Austausch auf den neuesten Stand der Technik ist daher nicht ausreichend, um das Ziel von 1,2 %/a zu erreichen. Einen wesentlichen Beitrag kann allerdings die Optimierung der angeschlossenen Systeme bringen. Hier wird ein sehr hohes Potenzial vermutet (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. Ebenso liegt in der Optimierung von Pumpen- bzw. Ventilatorbetrieben (hydraulische Optimierung, FU-Steuerung) ein sehr hohes Einsparpotenzial.
- Raumwärme / Klimatisierung: die Einsparungen im Bereich der Raumwärme bzw. Klimatisierung lehnen sich an die Rahmenbedingungen in Kap. 10.4 an.
- Kfz/Traktion: die Einsparungen im Bereich der Kraftfahrzeuge / Traktion lehnen sich an die Rahmenbedingungen in Kap. 10.2 an.

10.3.2 Spezielle Annahmen in den Szenarios

Szenario I (Strom-Szenario)

Grundsätzlich werden in diesem Szenario sämtliche Industrieprozesse, die technologisch mit Hilfe von Strom durchführbar sind, auf Strom umgestellt. Die Dampferzeugung wird von derzeit hauptsächlich Gas auf 100 % Strom umgestellt, wodurch sehr hohe Systemwirkungsgrade erreicht werden können. Synergieeffekte durch intelligente Verbrauchssteuerung geführt nach Stromüberschuss können hier wirksam werden (Power-to-Heat-Systeme).

Bei den Industrieofenprozessen wird die benötigte Kohle, die vorwiegend als Rohstoff benötigt wird, weitergeführt und durch importierte Biokohle ersetzt. Eine Umstellung der Industrieprozesse auf Strom kann nur teilweise erfolgen, da bestimmte Prozesse eine Flamme bzw. sehr hohe Temperaturen benötigen. Es wird angenommen, dass 30 % aus dem derzeitigen Erdgasverbrauch durch Strom ersetzt werden können. Die restlichen 70 % werden in diesem Szenario durch Wasserstoff ersetzt. Beim Einsatz von Wasserstoff muss allerdings eine Adaptierung der bestehenden Brenner vorgenommen werden. Da diese Systeme die Flamme meist direkt nutzen, ohne dass die Wärme über Wärmetauscher übertragen werden muss, sind

auch hier sehr hohe Systemwirkungsgrade erzielbar.
Im Bereich Standmotoren wird angenommen, dass es zu einer weiteren Erhöhung der Elektrifizierung kommen wird. Laut Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017) betrug der Anteil elektrisch betriebener Standmotoren bezogen auf den Endenergieeinsatz rund 75,6 %. Für 2050 werden hierfür rund 85 % prognostiziert. Im Bau- bzw. im Bergbaugewerbe wird davon ausgegangen, dass der benötigte Diesel für Sonderkraftmaschinen nur teilweise durch elektrifizierte Standmotoren ersetzt werden kann. Somit wird angenommen, dass 70 % des derzeitig benötigten Diesels auch 2050 benötigt wird.
Trocknungsverfahren können teilweise auf Wärmepumpentechnologie umgestellt werden. In den ÖNACE-Kategorien Nicht Eisen Metalle, Steine Erden Glas und Papier Druck wurde auf 40 % Wärmepumpentechnologie umgestellt. Der größte Trocknungsaufwand fällt in der Holzverarbeitung an. Dieser wird wie derzeit weitergeführt und nicht durch die Wärmepumpentechnologie ersetzt.

Szenario II (Wasserstoff-Szenario)
In diesem Szenario wird der Energieträgermix 2016 zu großen Teilen für 2050 weitergeführt. Die fossilen Energieträger Erdgas, Heizöl und Diesel werden weitestgehend durch erneuerbaren Wasserstoff ersetzt. Die Dampferzeugung wird von derzeitig hauptsächlich Erdgas auf Wasserstoff umgestellt. Der derzeitige Anteil an elektrischer Energieaufbringung für die Dampferzeugung wird weitergeführt wie bisher. Da die Dampferzeugung aus Strom höhere Wirkungsgrade aufweist als mittels Wasserstoff (Verluste durch Abgas bzw. Wärmeübertragungsverluste bei Dampferzeugung mittels Brennstoffen) sinkt hier die Effizienz im Vergleich zu Szenario I.
Bei den Industrieofenprozessen wird die benötigte Kohle ebenfalls wie in Szenario I durch Biokohle ersetzt. Sämtliche Industrieprozesse, die derzeitig mit Erdgas betrieben werden, werden auf Wasserstoff umgestellt. Bei Prozessen, die nicht zwingend eine Flamme benötigen, ergeben sich auch hier geringere Wirkungsgrade als bei direktem Einsatz von Strom. Eine Brenneranpassung der bestehenden Brenner muss vorgenommen werden.
Im Bereich Standmotoren wird nicht von einer Erhöhung der Elektrifizierung ausgegangen. Die derzeitig benötigten fossilen Energieträger werden bis 2050 weitergeführt und durch erneuerbaren Wasserstoff ersetzt. Trocknungsverfahren werden nicht auf Wärmepumpentechnologie umgestellt. Prozesse, welche hierbei mit Erdgas betrieben werden, werden auf Wasserstoff umgestellt.
Effizienzeinsparungen in der Endenergie können nicht derart greifen als bei der Technologieumstellung auf Strom. Die Wirkungsgrade der Energieerzeuger sind um ein paar Prozentpunkte geringer als bei Strom, jedoch um rund einen Prozentpunkt höher als bei Methan.

Szenario III/IIIa (Methan-Szenario / adaptiertes Methan-Szenario)
Diese Szenarien sind im Sektor Produktion ident zu Szenario II, allerdings wird anstelle von Wasserstoff synthetisches Methan eingesetzt. Dementsprechend sind hier die Wirkungsgrade von End- auf Nutzenergie niedriger angesetzt als im Szenario I.

Szenario IV (Mix-Szenario)

Dieses Szenario ist im Sektor Produktion ident zu Szenario I, allerdings wird anstelle von Wasserstoff synthetisches Methan eingesetzt. Dementsprechend sind hier die Wirkungsgrade von End- auf Nutzenergie um rund einen Prozentpunkt niedriger angesetzt als im Szenario I.

10.4 Sektor Sonstiges inkl. Wirkungsgrade

Da der Sektor Sonstiges von den Gebäuden dominiert wird, werden hier nur die Randbedingungen für Gebäude dargestellt. Die Bereiche Prozesswärme (öffentliche und private Dienstleistungen) werden im Sektor Industrie, die Traktion der öffentlichen und privaten Dienstleistungen sowie der Landwirtschaft im Sektor Mobilität dargestellt.

Flächenentwicklung der Gebäude

Im Bereich der Wohngebäude ergibt sich die zukünftige Entwicklung der Brutto-Grundfläche zum einen aus der Entwicklung der durchschnittlichen Wohnfläche pro Person in Tirol und zum anderen aus der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung (ÖROK 2015). Ausgehend von einer Pro-Kopf-Wohnfläche von 45,4 m² (STATISTIK AUSTRIA 2001) wird bis zum Jahr 2050 ein linearer Anstieg auf 48,0 m² angenommen.
Bei den Nicht-Wohngebäuden wird angenommen, dass sich die Entwicklung der Brutto-Grundfläche nur aus der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung in Tirol ergibt.
Damit ergibt sich ein Anstieg der konditionierten Bruttogesamtfläche von 81 Mio. m² im Jahr 2016 auf 94 Mio. m² im Jahr 2050.

Abrissrate

Die Abrissrate wird mit 0,7 %/a für Gebäude älter als 40 Jahre angenommen. Aufgrund der hohen technischen Lebensdauer wird angenommen, dass nach dem Jahr 2000 errichtete Gebäude in der Periode 2016 bis 2050 nicht abgerissen werden. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass nur jene Bestandsgebäude abgerissen werden, die in der Periode 2016 bis 2050 noch nicht saniert wurden. Das gleiche gilt für den Austausch von Heizsystemen. Es wird angesetzt, dass ein Abbruch nur dann durchgeführt werden darf, wenn das Heizsystem in den letzten 25 Jahren nicht erneuert wurde.

Neubau- und Sanierungsqualität

Die verwendete Neubauqualität basiert auf den Werten, welche im Rahmen des Innsbrucker Energieplans (DOBLER et al. 2017) ermittelt wurden. Dabei wurde der maximale Referenz-Heizwärmebedarf nach Nationalem Plan der OIB-Richtlinie (OIB 2014) bei den Wohngebäuden nicht exakt übernommen, sondern um 25 % abgemindert, da von einer strengeren Wohnbauförderung ausgegangen wird und die notwendige Energieeinsparung sonst nicht erreicht wird. Bei den Nicht-Wohngebäuden werden die Werte exakt – ohne Abminderung – aus dem Nationalen Plan übernommen. Tab. 23 zeigt die angesetzte Neubauqualität. Ab 2021 wird praktisch Passivhausqualität im Neubau angesetzt.

Tab. 23: Angesetzte Neubauqualität in Abhängigkeit der Gebäudekategorie.

Jahr	Heizwärmebedarf Neubau [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	40	36	38	34	27	31	34	34	54	34
ab 2017	35	32	34	30	24	27	30	30	48	30
ab 2019	30	27	29	26	20	23	26	26	41	26
ab 2021	25	23	24	21	17	19	21	21	34	21
ab 2023	10	9	10	9	9	9	9	9	14	9
ab 2025	10	9	10	9	9	9	9	9	14	9
ab 2027	10	9	10	9	9	9	9	9	14	9

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an verwendete Gebäudekategorien.

Der Warmwasserwärmebedarf (Nutzenergie) im Vergleich zu den bestehenden Gebäuden wird als nicht veränderlich und über alle Bauperioden konstant angenommen (Tab. 24).

Tab. 24: 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

Die angenommene Sanierungsrate wird mit 1 %/a für umfassende Sanierungen und 1%/a für Teilsanierungen angenommen. Dies ergibt sich aus der bisherigen langjährigen Sanierungsrate. Es sind dabei nur vom Land Tirol geförderte umfassende Sanierungen im Wohngebäude-Bereich berücksichtigt (OBERHUBER et al. 2014). Aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit wird diese Sanierungsrate nicht nur für Wohngebäude, sondern auch für Nicht-Wohngebäude herangezogen. In Summe ergibt sich ein Äquivalent von umfassenden Sanierungen von 1,3 %/a. Dies entspricht den von der Bundesregierung 2018 angestrebten 2 % (BMNT et al. 2018), da dort nicht von umfassenden Sanierungen die Rede ist.
Die Sanierungsrate im Modell wird in Abhängigkeit des kalibrierten Raumwärmeenergiebedarfs der Gebäudeklasse gewählt: Umso höher der nach Gebäudekategorie und Bauperiode aufgeschlüsselte kalibrierte Raumwärmeenergiebedarf, desto größer wird die Sanierungsrate gewählt. Dadurch wird berücksichtigt, dass Gebäudeklassen, in denen in letzter Zeit viele Sanierungen durchgeführt wurden und folglich einen niedrigeren kalibrierten Raumwärmeenergiebedarf aufweisen, in nächster Zukunft mit geringerer Wahrscheinlichkeit saniert werden. Beispielhaft zeigt Tab. 25 die angenommenen Sanierungsraten für Einfamilienhäuser (EFH). Tab. 26 zeigt die angesetzte Sanierungsqualität. Die Austauschraten der Heizungssysteme werden zwischen 3,3 und 5 %/a angenommen.

Tab. 25: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode, Szenarien I, II und III.

Bauperiode von - bis	Sanierungszeitraum 2016-2020	Sanierungszeitraum 2021-2030	Sanierungszeitraum 2031-2050
bis 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. 26: Angesetzte Sanierungsqualität für das Szenario III in Abhängigkeit der Gebäudekategorie.

Jahr	Heizwärmebedarf Neubau [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

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an verwendete Gebäudekategorien.

Energieträgerverteilung bei Neubau und Sanierung (Szenario I und II)

Für die Szenarien I und II werden die Verläufe der Entwicklung in Jahresschritten berechnet. Für die Szenarien III und IV werden die Endwerte der Szenarien I und II von 2050 entsprechend der in den Szenarien III und IV angenommenen Energieträgerverteilung angepasst.

Die zukünftige Energieträgerverteilung wird anhand der im Innsbrucker Energieplan ermittelten Datenlage durchgeführt. Dabei werden im Neubau zwei Arten der Energieträgerverteilung definiert. Die Trend-Energieträgerverteilung orientiert sich dabei an der momentanen Entwicklung und ist in den folgenden

Tabellen jeweils in der ersten Spalte dargestellt. Bei der Ziel-Energieträgerverteilung, welche ab 2021 herangezogen wird, werden keine fossilen Energieträger mehr eingesetzt. Bei den eingesetzten Energieträgern wird ab 2021 vor allem auf Umweltwärme gesetzt, da Holz und Solarthermie auch in anderen Bereichen genutzt werden können. Die Energieträgerverteilung je Wohngebäudekategorie ist beispielhaft für das Einfamilienhaus in Tab. 27 dargestellt. Die Energieträgerverteilung aller Gebäudekategorien für Heizung und Warmwasserbereitung für Neubau und Sanierung sind im Anhang dargestellt. Bei den Jahresnutzungsgraden wird mit einer zeitlichen Verbesserung gerechnet.

Tab. 27: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme (Szenario I und II).

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

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Zeitreihe für den Endenergiebedarf (Szenario I und II)

Der Gesamt-Endenergiebedarf von Tirol setzt sich aus den Wohngebäuden und den Nicht-Wohngebäuden zusammen (Abb. 16). Der Strombedarf exkl. Wärme nimmt im betrachteten Zeitraum um 15 % ab, der Gesamtstrombedarf inklusive Strom für Wärmepumpen bleibt annähernd gleich. Der Fernwärmebedarf 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. Ein Gasbedarf wird in diesen Szenarien seitens der Gebäude nicht bestehen.

Nach der Definition der ÖNORM H 5056:2014 (ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT 2014) wird der Endenergiebedarf des Jahres 2050 im Vergleich zu 2016 um 65,4 % reduziert, wodurch das Ziel einer Reduktion um 50 % erreicht ist. Bei Anrechnung der Umweltwärme zur Endenergie, wie nach Nutzenergieanalyse vorgesehen (STATISTIK AUSTRIA 2017), errechnet sich eine Einsparung von 31,7 %. Diese liegt somit unter den angestrebten Zielen. Durch den erhöhten Austausch von Heizsystemen werden im Jahr 2050 keine fossilen Energieträger mehr eingesetzt. Das Szenario erfüllt somit die Tiroler Energiestrategie (wenn Umweltwärme nicht angerechnet wird).

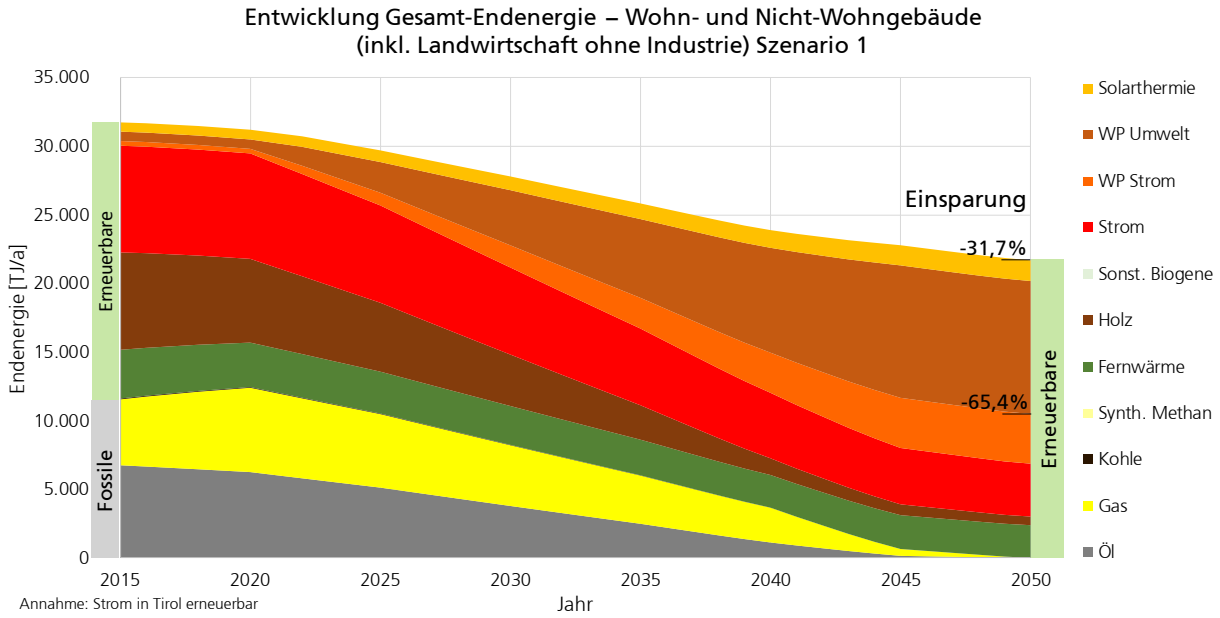


Abb. 16: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I und II für den Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie).

11 ENERGIESYSTEM 2050 – ERGEBNISSE

Im Rahmen des ggst. Projektes wurden neben dem Energiesystem des Jahres 2016 insgesamt fünf Szenarien erstellt und in Form von Energieflussbildern aufbereitet, die zeigen, mit Einsatz welcher heimischer Ressourcen und unter Anwendung welcher Technologien das Ziel der Energieautonomie Tirol im Jahr 2050 erreicht werden kann. Die Szenarien I, II und III stellen dabei Grenzwertszenarien da, die das Energiesystem aufzeigen, wenn maximal auf Strom, Wasserstoff bzw. Methan umgestellt wird. Szenario IIIa bildet eine Variation des Szenario III, Szenario IV stellt den Einsatz eines Energiemixes dar, in dem sowohl Strom als auch synthetische Gase zum Einsatz kommen.

In den folgenden Kapiteln werden die Kernaussagen zu den ausgearbeiteten Szenarien angeführt. Vereinfachte Flussbilder zeigen jeweils die benötigten heimischen Ressourcen (Art und Menge), den sektorbezogenen und gesamthaften Endenergieeinsatz sowie die eingesetzte Nutzenergie aufgeteilt auf Kategorien und das gesamte System. Die Höhe des Nutzenergieeinsatzes ist in allen Szenarien gleich (abhängig von geringen Rundungsdifferenzen), da die zu erwartende Energiedienstleistung in 2050 für jedes Szenario gleich angesetzt werden muss.
Je nach eingesetzten Energieträgern sowie angewandten Techniken in der Bedarfsdeckung mit einhergehenden abweichenden Wirkungsgraden ergeben sich abweichende Endenergieeinsätze sowie unterschiedliche Beträge der benötigten Sekundärenergie und Primärenergie (gleich „eingesetzte Energie“). Umwandlungs- und Verteilverluste wurden in den Flussbildern ergänzend für den Umwandlungsbereich sowie zwischen Endenergie- und Nutzenergieebene ausgewiesen.

Eine detaillierte Darstellung der Energieflüsse findet sich in den großformatigen Flussbildern im Anhang.

11.1 Szenario I – „Strom-Szenario“ / Flussbild

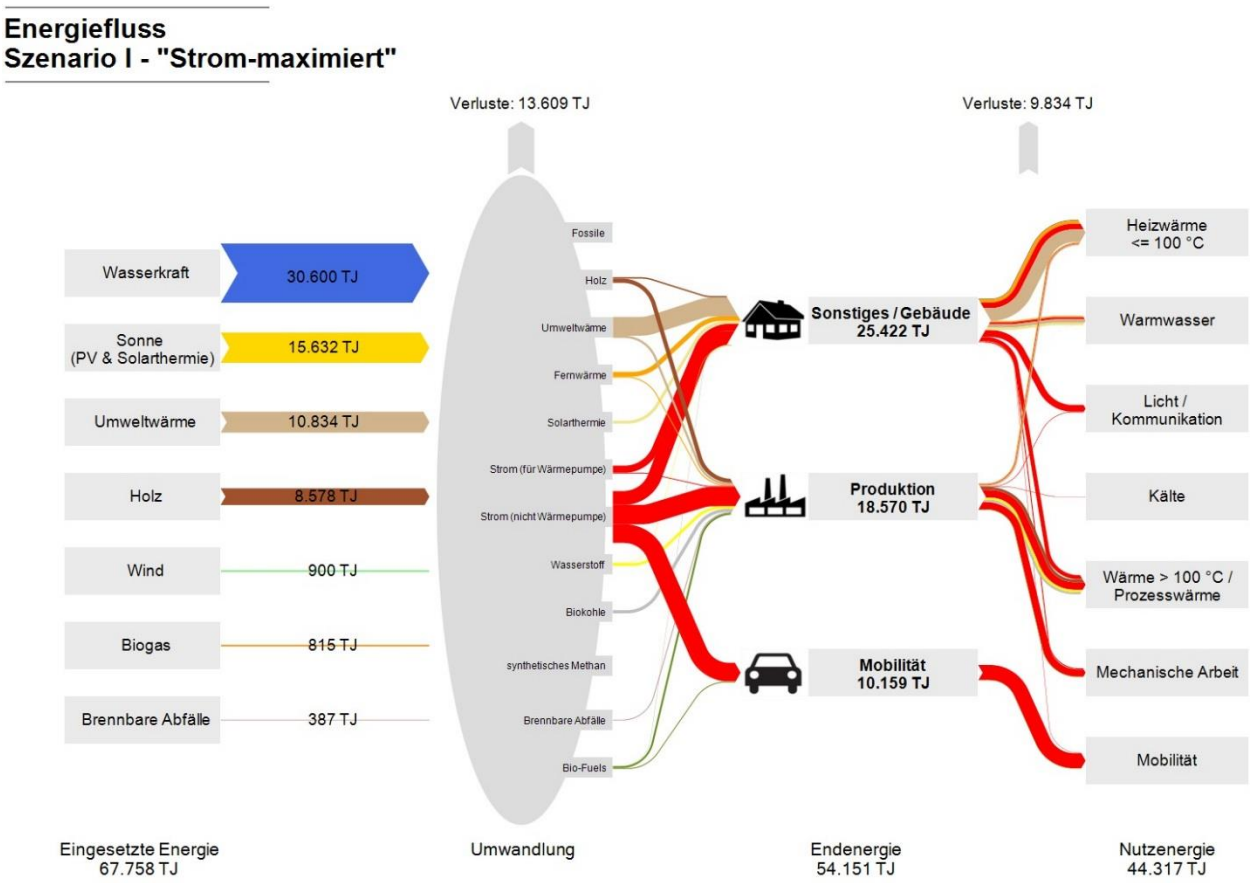


Abb. 17: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse 2050 im Szenario I – „Strom-Szenario“.

Folgende Kernaussagen können formuliert werden:

Szenarientyp

- Das Szenario stellt ein Grenzwert-Szenario auf Strombasis dar.

Nutzenergie

- Der Nutzenergiebedarf liegt bei rund 44.300 TJ und somit um rund 10 % unter dem des Jahres 2016.
- Die Verluste beim Übergang von Endenergie zu Nutzenergie sind mit rund 18 % gegenüber dem heutigen Wert von -44 % gering. Dies liegt vor allem am Umstieg auf Elektroantrieb im Sektor Mobilität.

Endenergie

- Der Endenergiebedarf liegt bei rund 54.200 TJ und somit um rund 38 % unter dem der Jahre 2005 und 2016.
- Strom spielt mit 57 % die dominierende Rolle beim Endenergieeinsatz. Weitere 20 % entfallen auf

die Umweltwärme, so dass auch dieser Technologie eine bedeutende Rolle zukommt.

- Die Wärmebereitstellung im Sektor Sonstiges erfolgt ganz überwiegend durch Umweltwärme und hierfür notwendigen Strom sowie Fernwärme, so dass sich für die Zukunft die Frage nach der Nutzung der bestehenden Gasinfrastruktur stellt.
- Aufgrund der angesetzten Umstellung auf Elektroantrieb auf der Straße und der damit einhergehenden massiven Effizienzsteigerung gegenüber den heutigen Verbrennungsmotoren beträgt der Anteil des Sektors Mobilität statt der heutigen rund 35 % am Endenergieeinsatz nur noch rund 19 %.
- Um den Endenergieeinsatz vollständig durch Erneuerbare Energie zu decken, ist ein Ausbau der Erneuerbaren Energien gegenüber dem Jahr 2005 um rund 78 %, gegenüber dem Jahr 2016 um rund 53 % notwendig.

Umwandlung

- Da Strom der entscheidende Energieträger in diesem Szenario ist, steigt sein Bedarf gegenüber 2016 nicht nur auf Basis der Endenergie (+62 %). Zusätzlicher Strom wird im Umwandlungsbereich auch für die Produktion von Wasserstoff, für Pumpspeicherkraftwerke, aber auch für „Ausgleiche“ für importierte Biofuels und Biokohle benötigt.
- In Summe werden in der vorgelagerten Prozesskette im Jahr 2050 rund 46.600 TJ an Strom benötigt – unabhängig von dann getätigten Stromimporten und –exporten, die in den Flussbild nachrichtlich mit jeweils 30.000 TJ, dem ungefähren Wert des Jahres 2016, eingetragen sind. Die tatsächliche Höhe der zukünftigen Stromimporte und -exporte ist heute noch nicht absehbar.
- Der in den Sektoren benötigte Wasserstoff wird über den Einsatz von Strom gewonnen. Der Gesamtwirkungsgrad liegt hierbei bei rund 50 %, die Verluste halten sich aber gesamthaft betrachtet aufgrund des geringen Wasserstoffbedarfs gegenüber der anderen Szenarien in Grenzen. Zusätzlich wird bei diesem Szenario Wasserstoff eher on-demand erzeugt, weshalb es relativ gesehen zu geringeren Transport- und Speicherverlusten kommt.

Ressourcen

- Um den benötigten Strombedarf zu decken, ist der Ausbau der Wasserkraftwerke im Umfang des Beschlusses von 2011 unabdingbar – d.h. ein Zubau der Wasserkraft im Saldo um 10.000 TJ gegenüber dem Jahr 2011. Zusätzlich ist ein massiver Ausbau der Photovoltaikanlagen notwendig. 86 % aller geeigneter Dachflächen sind mit Photovoltaik-Modulen zu bestücken. Die heute bereits bestehenden Freiflächenanlagen sind weiter zu betreiben. Zusätzlich ist auch die Errichtung von Windkraftanlagen notwendig im Ausmaß des in der Windpotenzialstudie ausgewiesenen Werts von 900 T/a. In etwa gleich viel Strom wird aus holzgeführten KWK-Anlagen eingesetzt.
- Die in den Sektoren benötigte Wärme wird v.a. durch dezentrale Wärmepumpen unter Einsatz von Strom gewonnen oder aber über Fernwärme bereitgestellt, die überwiegend aus den holzgeführten KWK-Anlagen stammt.

11.2 Szenario II – „Wasserstoff-Szenario“ / Flussbild

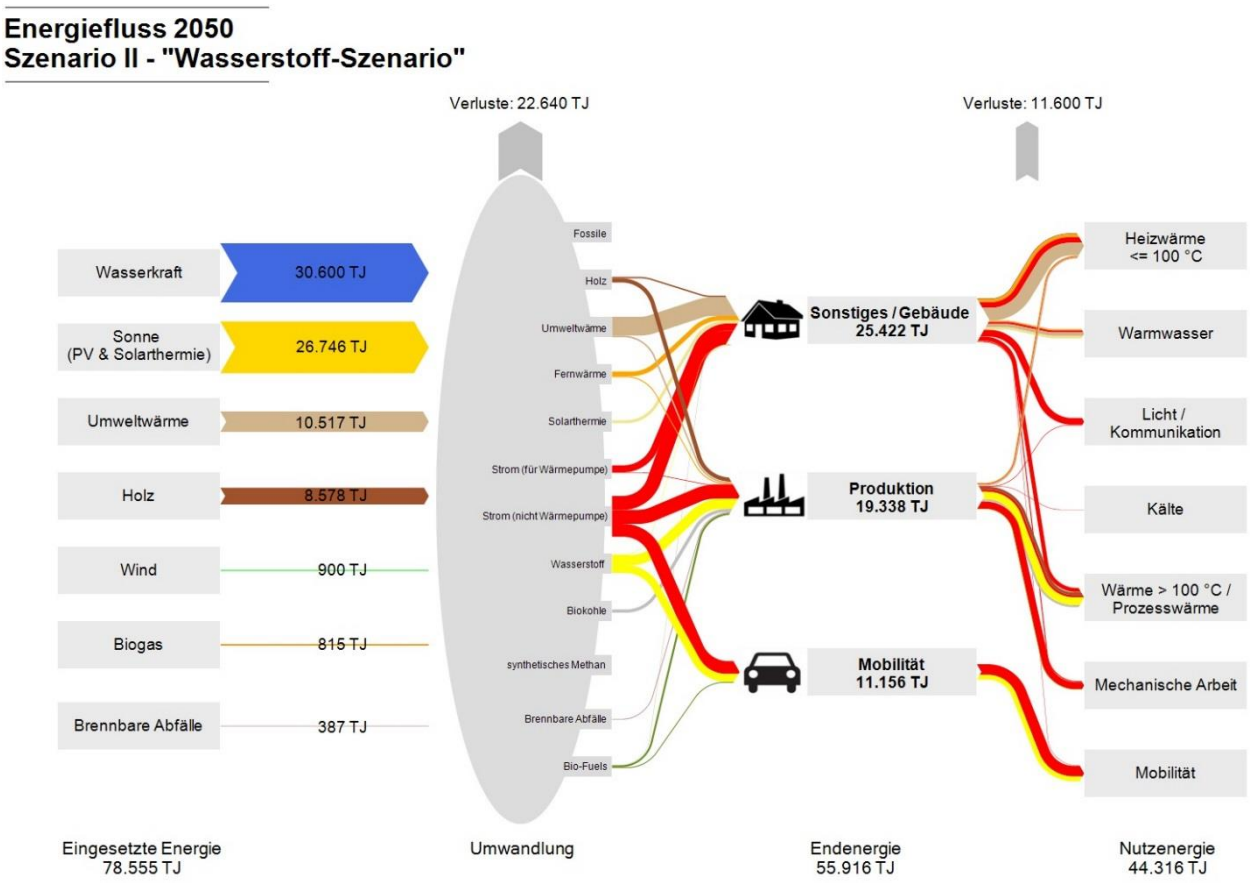


Abb. 18: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse 2050 Szenario II – „H_2-Szenario“.

Folgende Kernaussagen können formuliert werden:

Szenarientyp

- Das Szenario stellt ein Grenzwert-Szenario auf Wasserstoffbasis dar.

Nutzenergie

- Der Nutzenergiebedarf liegt bei rund 44.300 TJ; rund 10 % unter dem des Jahres 2016.
- Die Verluste beim Übergang Endenergieebene zu Nutzenergieebene sind mit im Mittel rund 21 % gegenüber dem heutigen Wert von -44 % deutlich reduziert. Dies liegt vor allem an den Sektoren Mobilität und Produktion, in denen durch Effizienzsteigerungen die Verluste von 43 % bzw. 77 % im Jahr 2016 auf je 29 % gedrückt werden können. Im Sektor Sonstiges, dessen absoluter Nutzenergieeinsatz in etwa gleich groß ist wie derjenige von Produktion und Mobilität zusammen, werden für das Jahr 2050 Verluste in Höhe von 11 % ausgewiesen (2016: rund 16 %).

Endenergie

- Der Endenergiebedarf liegt bei rund 56.000 TJ und somit um rund 36 % unter dem der Jahre 2005

und 2016.

- Strom spielt mit 45 % die dominierende Rolle beim Endenergieeinsatz, ist allerdings weniger bedeutend als bei Szenario I. 19 % entfallen auf die Umweltwärme, 17 % auf Wasserstoff.
- Aufgrund der angesetzten Umstellung auf Elektroantrieb und Wasserstoff auf der Straße und der damit einhergehenden Effizienzsteigerung gegenüber den heutigen Verbrennungsmotoren beträgt der Anteil des Sektors Mobilität statt der heutigen rund 35 % am Endenergieeinsatz nur noch rund 20 %.
- Um den Endenergieeinsatz vollständig durch Erneuerbare Energie zu decken, ist ein Ausbau der Erneuerbaren Energien gegenüber dem Jahr 2005 um rund 84 %, gegenüber dem Jahr 2016 um rund 58 % notwendig.

Umwandlung

- Strom ist der entscheidende Energieträger in diesem Szenario. Sein Bedarf gegenüber 2016 steigt auf Basis der Endenergie um rund 32 % auf rund 25.000 TJ. Zusätzlicher Strom in Höhe von rund 21.000 TJ wird im Umwandlungsbereich für die Produktion von Wasserstoff benötigt. Der benötigte Strom für Pumpspeicherkraftwerke sowie für den „Ausgleich“ für importierte Biofuels und Biokohle ändert sich gegenüber Szenario I nicht und liegt in Summe bei rund 11.000 TJ.
- In Summe werden in der vorgelagerten Prozesskette im Jahr 2050 rund 57.800 TJ an Strom benötigt. Dies sind rund 11.200 TJ mehr als in Szenario I. Stromimporte und -exporte werden im Flussbild nachrichtlich mit jeweils 30.000 TJ angegeben, was in etwa dem Wert des Jahres 2016 entspricht. Die tatsächliche Höhe der zukünftigen Stromimporte und -exporte ist nicht absehbar.
- Die Verluste bei der Wasserstoffproduktion im Umwandlungsbereich sind mit rund 10.600 TJ beträchtlich. Zusätzlich fallen rund 1.000 TJ Leitungs- und Verteilverluste im Zusammenhang mit dem Wasserstoff an, in Summe somit rund 11.600 TJ.
- Trotz der hohen Verluste innerhalb der Wasserstoffproduktion stellt der Energieträger auch eine gewisse Möglichkeit der Speicherung von Energie dar und kann somit den Energiespeicher (Pump-)speicherkraftwerk ergänzen.

Ressourcen

- Um den benötigten Strombedarf zu decken, ist – wie in Szenario I – der Ausbau der Wasserkraft im Saldo um 10.000 TJ gegenüber dem Jahr 2011 notwendig. Je etwa 900 TJ Strom müssen durch Windkraftanlagen und aus holzgeführten KWK-Anlagen gewonnen werden. Obwohl nur etwa 50 % des nutzbaren Holzpotenzials energetisch genutzt werden, erscheint eine weitere Stromgewinnung aus Holz-KWK nicht sinnvoll. Grund hierfür ist, dass die dann entstehende Abwärme nicht benötigt wird. Als einzige Möglichkeit verbleibt somit nur der massive Ausbau der Photovoltaikanlagen. 90 % aller geeigneten Dachflächen sind mit Photovoltaik-Modulen zu bestücken. Die hiermit erzielbaren rund 15.000 TJ reichen jedoch bei weitem nicht aus, sodass auch Freiflächenanlagen errichtet und betrieben werden müssen. Zur Erzeugung der noch ausstehenden rund 10.300 TJ werden Freiflächenanlagen mit einer Leistung von rund 2,9 Mio. kWp benötigt. Die hierfür benötigten Module bedecken größenmäßig eine Fläche von rund 3.000 Fußballfeldern – d.h. im Schnitt rund 11 Fußballfelder je Tiroler Gemeinde.

- Die in den Sektoren benötigte Wärme wird v.a. durch dezentrale Wärmepumpen unter Einsatz von Strom gewonnen oder aber über Fernwärme bereitgestellt, die überwiegend aus den holzgeführten KWK-Anlagen stammt.
- Das in den vergangenen Jahren massive ausgebaute Erdgasnetz ist – wie im Szenario I – als Übergangslösung zu sehen. Es stellt sich die Frage nach der Nachnutzung der aufgebauten Gasinfrastruktur.

11.3 Szenario III – „Methan-Szenario“ / Flussbild

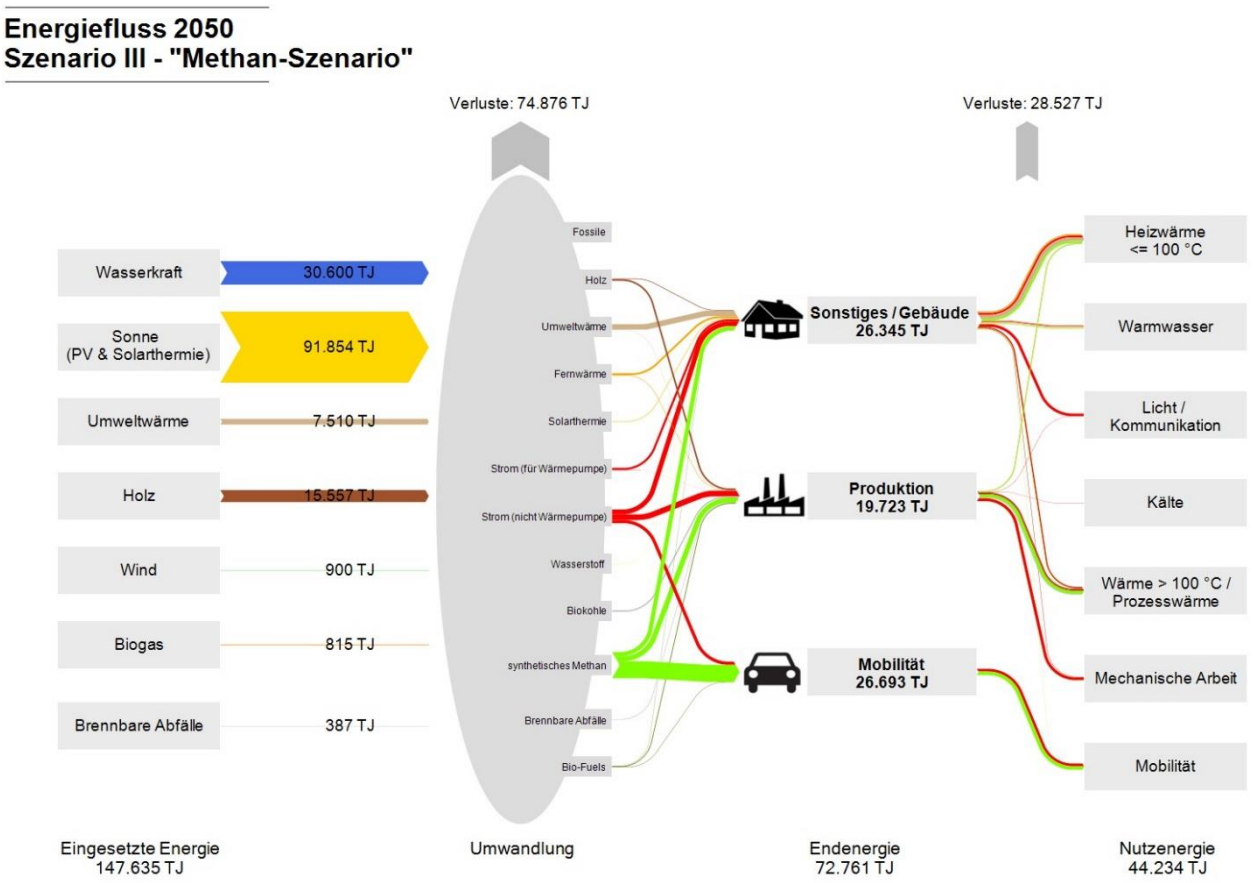


Abb. 19: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse 2050 Szenario III – „Methan-Szenario“.

Folgende Kernaussagen können formuliert werden:

Szenarientyp

- Das Szenario stellt ein Grenzwert-Szenario auf Methanbasis dar.
- Power-to-Gas Methan wird in großem Stil eingesetzt. Die bestehenden Gasnetze bleiben in vollem Umfang erhalten und werden über Power-to-Gas betrieben. Die Mobilität erfolgt zum Großteil über gasbetriebene Verbrennungsmotoren.
- Eine Ressourcennutzung im benötigten Ausmaß erscheint aus heutiger Sicht wenig realistisch. Besonders fraglich erscheint die Umsetzung des notwendigen Ausbaus on Photovoltaik-Freiflächenanlagen in einer Größenordnung von 21 MWp.
- Das ggst. Szenario ist nicht konform zu anderen Strategien wie zum Beschluss der Stadt Innsbruck (Szenario ohne Methan!)

Nutzenergie

- Der Nutzenergiebedarf liegt bei rund 44.300 TJ; rund 10 % unter dem des Jahres 2016.

- Die Verluste beim Übergang Endenergieebene zu Nutzenergieebene sind mit im Mittel rund 39 % gegenüber dem heutigen Wert von -44 % nur wenig reduziert. Dies liegt vor allem am Sektor Mobilität, in dem gegenüber 2016 (77 % Verluste) kaum Effizienzsteigerungen zu verbuchen sind und der im Jahr 2050 Verluste von rund 70 % verzeichnet. Im Sektor Produktion werden für das Jahr 2050 Verluste in Höhe von 31 % ausgewiesen (2016: rund 43 %).

Endenergie

- Der Endenergiebedarf liegt bei rund 72.800 TJ und somit um rund 17 % unter dem der Jahre 2005 und 2016.
- Methan spielt mit 46 % die dominierende Rolle beim Endenergieeinsatz. 28 % entfallen auf Strom, 10 % auf die Umweltwärme.
- Das in den vergangenen Jahren massiv ausgebaute Erdgasnetz kann vollständig weiterbetrieben werden.
- Aufgrund der angesetzten Umstellung auf gasbetriebene Verbrennungsmotoren im Bereich der Mobilität und der damit kaum spürbaren Effizienzsteigerung gegenüber den heutigen Verbrennungsmotoren beträgt der Anteil des Sektors Mobilität statt der heutigen rund 35 % am Endenergieeinsatz aufgrund steigender Zulassungszahlen rund 37 %.
- Power-to-Gas Methan wird auch in den Sektoren Sonstiges zur Wärmebereistellung in Gebäuden sowie im Bereich der Produktion eingesetzt.
- Um den Endenergieeinsatz vollständig durch Erneuerbare Energie zu decken, ist ein Ausbau der Erneuerbaren Energien gegenüber dem Jahr 2005 um rund 139 %, gegenüber dem Jahr 2016 um rund 105 % notwendig.

Umwandlung

- Strom ist der entscheidende Energieträger im vorgelagerten Umwandlungsbereich dieses Szenarios. Sein Bedarf steigt gegenüber 2016 im Umwandlungsbereich um rund 410 % auf rund 121.900 TJ. Der Großteil davon in Höhe von rund 89.500 TJ wird für die Produktion von Methan benötigt, wobei durch Prozessoptimierung und den Einsatz von Wärme aus mit Holz betriebenen Heizwerken der Stromeinsatz bereits reduziert wird. Für die Methanproduktion kann dabei nur bedingt auf volatilen Spitzenstrom zurückgegriffen werden, da die Produktion eine ständige hohe Auslastung bedarf, um technisch und wirtschaftlich zu funktionieren. Der benötigte Strom für Pumpspeicherkraftwerke sowie für den „Ausgleich“ für importierte Biofuels und Biokohle ändert sich gegenüber Szenario I nicht und liegt in Summe bei rund 11.000 TJ.
- In Summe werden in der vorgelagerten Prozesskette im Jahr 2050 somit rund 75.300 TJ mehr an Strom benötigt als in Szenario I. Stromimporte und -exporte werden im Flussbild nachrichtlich mit jeweils 30.000 TJ angegeben, was in etwa dem Wert des Jahres 2016 entspricht. Die tatsächliche Höhe der zukünftigen Stromimporte und -exporte ist nicht absehbar.
- Die Verluste bei der Methanproduktion im Umwandlungsbereich sind mit rund 62.400 TJ enorm. Zusätzlich fallen rund 1.000 TJ Leitungs- und Verteilverluste im Zusammenhang mit dem Methan an, in Summe somit rund 63.400 TJ.
- Trotz der hohen Verluste innerhalb der Methanproduktion stellt der Energieträger auch eine

Möglichkeit der längerfristigen Speicherung von Energie dar. Hervorzuheben ist auch die weitere Nutzung der bereits heute bestehenden Gas-Infrastruktur.

Ressourcen

- Um den benötigten Strombedarf zu decken, ist – wie in den Szenarien I und II – der Ausbau der Wasserkraft im Saldo um 10.000 TJ gegenüber dem Jahr 2011 notwendig. 900 TJ Strom müssen durch Windkraftanlagen gewonnen werden. Da nahezu sämtliches Holz in Heizwerken eingesetzt wird, um in erster Linie den Methanisierungsprozess zu unterstützen oder aber direkt als Endenergie eingesetzt wird, entfällt der erzeugte Strom aus holzbasierten KWK-Anlagen. Als einzige Möglichkeit verbleibt somit nur der massive Ausbau der Photovoltaikanlagen. 90 % aller geeigneten Dachflächen sind mit Photovoltaik-Modulen zu bestücken. Die hiermit erzielbaren rund 15.000 TJ reichen jedoch bei weitem nicht aus, sodass auch Freiflächenanlagen in größtem Stil errichtet und betrieben werden müssen. Zur Erzeugung der noch ausstehenden rund 75.400 TJ werden Freiflächenanlagen mit einer Leistung von rund 21 Mio. kWp benötigt. Die hierfür benötigten Module bedecken größenmäßig eine Fläche von rund 22.600 Fußballfeldern – d.h. im Schnitt rund 81 Fußballfelder je Tiroler Gemeinde.
- Die in den Sektoren benötigte Wärme wird v.a. durch dezentrale Wärmepumpen unter Einsatz von Strom gewonnen oder aber über Fernwärme bereitgestellt, die überwiegend aus den holzgeführten Heizwerken stammt.

11.4 Szenario IIIa – „adaptiertes Methan-Szenario“ / Flussbild

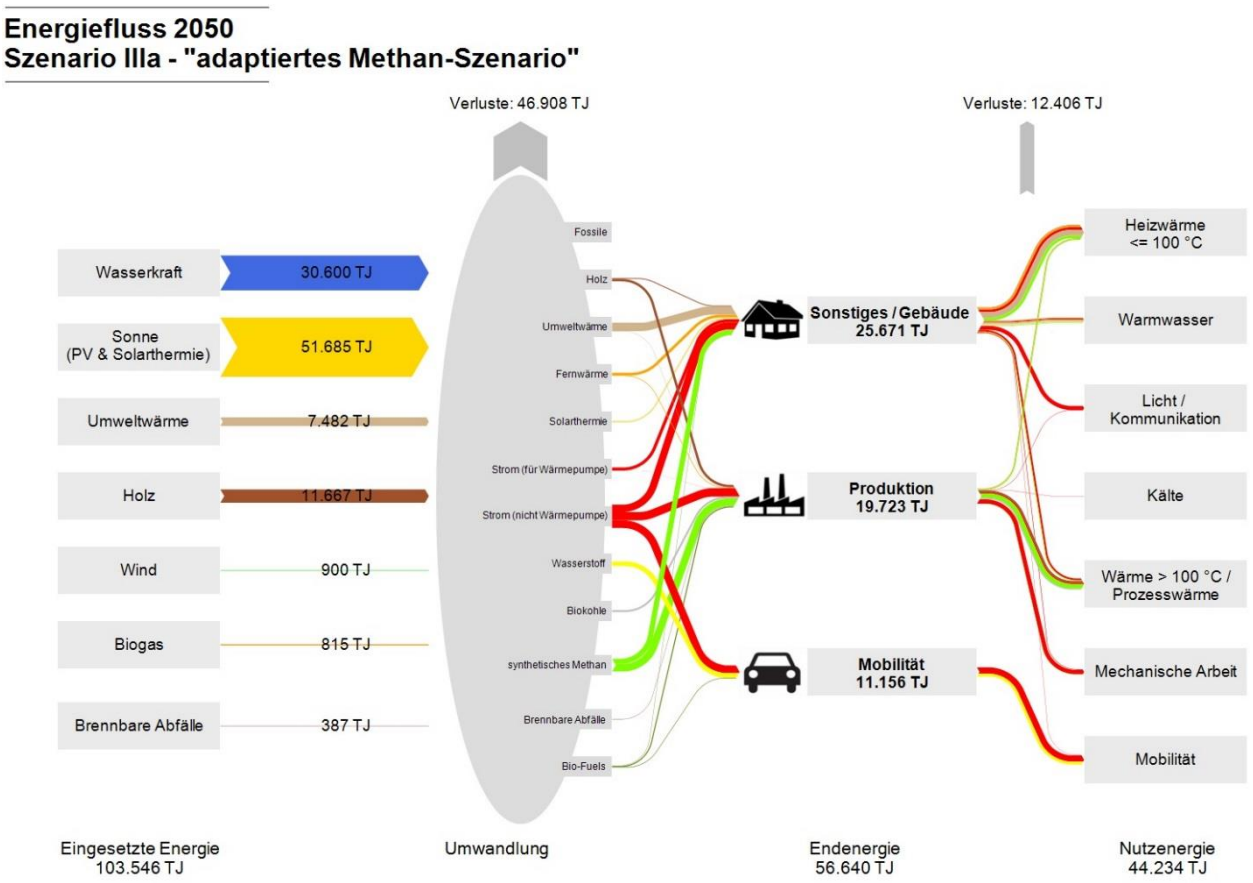


Abb. 20: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse Szenario IIIa – „adaptiertes Methan-Szenario“.

Folgende Kernaussagen können formuliert werden:

Szenarientyp

- Das Szenario stellt ein dem Szenario III ähnliches Grenzwert-Szenario auf Methanbasis dar, wobei jedoch im Mobilitätsbereich das eingesetzte Methan durch Wasserstoff ersetzt wird.
- Power-to-Gas Methan wird in den Sektoren Sonstiges und Produktion in großem Stil eingesetzt. Die bestehenden Gasnetze können damit in vollem Umfang über Power-to-Gas weiter genutzt werden.
- Eine Ressourcennutzung im benötigten Ausmaß erscheint aus heutiger Sicht wenig realistisch. Besonders fraglich erscheint die Umsetzung des notwendigen Ausbaus von Photovoltaik-Freiflächenanlagen in einer Größenordnung von 9,8 MWp.
- Das ggst. Szenario ist nicht konform zum Beschluss der Stadt Innsbruck (Szenario ohne Methan!

Nutzenergie

- Der Nutzenergiebedarf liegt bei rund 44.300 TJ; rund 10 % unter dem des Jahres 2016.

- Die Verluste beim Übergang Endenergieebene zu Nutzenergieebene sind mit im Mittel rund 22 % gegenüber dem heutigen Wert von -44 % in etwa halbiert. Dies liegt vor allem am Sektor Mobilität, in dem gegenüber 2016 (77 % Verluste) durch ausgeprägte Effizienzsteigerungen im Jahr 2050 lediglich noch Verluste in Höhe von rund 29 % zu erwarten sind.

Endenergie

- Der Endenergiebedarf liegt bei rund 56.600 TJ und somit um rund 35 % unter dem der Jahre 2005 und 2016.
- Strom spielt mit 41 % die dominierende Rolle beim Endenergieeinsatz. 19 % entfallen auf Methan, 7 % auf Wasserstoff und 13 % auf die Umweltwärme.
- Das in den vergangenen Jahren massiv ausgebaute Erdgasnetzes kann vollständig weiter genutzt werden.
- Aufgrund der angesetzten Umstellung auf Wasserstoff- und Strombetrieb im Bereich der Mobilität und der damit einhergehenden Effizienzsteigerung gegenüber den heutigen Verbrennungsmotoren sowie den gasbetriebenen Verbrennungsmotoren des Szenario III beträgt der Anteil des Sektors Mobilität statt der heutigen rund 35 % am Endenergieeinsatz rund 20 %.
- Power-to-Gas Methan wird lediglich in den Sektoren Sonstiges zur Wärmebereitstellung in Gebäuden sowie im Bereich der Produktion eingesetzt.
- Um den Endenergieeinsatz vollständig durch Erneuerbare Energie zu decken, ist ein Ausbau der Erneuerbaren Energien gegenüber dem Jahr 2005 um rund 86 %, gegenüber dem Jahr 2016 um rund 60 % notwendig.

Umwandlung

- Strom ist der entscheidende Energieträger im vorgelagerten Umwandlungsbereich dieses Szenarios. Sein Bedarf steigt gegenüber 2016 im Umwandlungsbereich um rund 120 % auf rund 51.700 TJ. Der Großteil davon in Höhe von rund 37.500 TJ wird für die Produktion von Methan benötigt, wobei durch Prozessoptimierung und den Einsatz von Wärme aus mit Holz betriebenen Heizwerken der Stromeinsatz bereits reduziert wird. Für die Methanproduktion kann dabei nur bedingt auf volatilen Spitzenstrom zurückgegriffen werden, da die Produktion eine ständige hohe Auslastung bedarf, um technisch und wirtschaftlich zu funktionieren. Für die Versorgung des Mobilitätssektors mit Wasserstoff werden rund 9.000 TJ Strom benötigt. Der benötigte Strom für Pumpspeicherkraftwerke sowie für den „Ausgleich“ für importierte Biofuels und Biokohle ändert sich gegenüber Szenario I nicht und liegt in Summe bei rund 11.000 TJ.
- In Summe werden in der vorgelagerten Prozesskette im Jahr 2050 somit rund 27.900 TJ mehr an Strom benötigt als in Szenario I. Stromimporte und -exporte werden im Flussbild nachrichtlich mit jeweils 30.000 TJ angegeben, was in etwa dem Wert des Jahres 2016 entspricht. Die tatsächliche Höhe der zukünftigen Stromimporte und -exporte ist nicht absehbar.
- Die Verluste bei der Methanproduktion im Umwandlungsbereich sind mit rund 30.400 TJ enorm, die der Wasserstoffproduktion liegen bei rund 4.500 TJ. Zusätzlich fallen rund 800 TJ Leitungs- und Verteilverluste an, in Summe betragen die Verluste somit rund 35.600 TJ.
- Trotz der hohen Verluste bei der Methan- und Wasserstoffproduktion stellen die Energieträger

auch Möglichkeiten einer längerfristigen Speicherung von Energie dar. Hervorzuheben ist die Möglichkeit einer weiteren Nutzung der heute bestehenden Gas-Infrastruktur.

Ressourcen

- Um den benötigten Strombedarf zu decken, ist – wie in den Szenarien I bis III – der Ausbau der Wasserkraft im Saldo um 10.000 TJ gegenüber dem Jahr 2011 notwendig. 900 TJ Strom müssen durch Windkraftanlagen gewonnen werden. Ein Großteil des nutzbaren Holzpotenzials wird in Heizwerken eingesetzt, um den Methanisierungsprozess maßgeblich zu unterstützen oder direkt als Endenergie eingesetzt zu werden. Der Betrieb von KWK-Anlagen ist nicht vorgesehen, da die dort anfallende Wärme zur Bedarfsdeckung nicht benötigt wird. Als einzige Möglichkeit einer weiteren Stromerzeugung verbleibt nur der massive Ausbau der Photovoltaikanlagen. 90 % aller geeigneten Dachflächen sind mit Photovoltaik-Modulen zu bestücken. Die hiermit erzielbaren rund 15.000 TJ stellen jedoch nur rund ein Drittel des benötigten Photovoltaikstroms dar und reichen bei weitem nicht aus. Freiflächenanlagen in großem Stil müssen errichtet und betrieben werden. Zur Erzeugung der noch ausstehenden rund 35.300 TJ werden Freiflächenanlagen mit einer Leistung von rund 9,8 Mio. kWp benötigt. Die hierfür benötigten Module bedecken größenmäßig eine Fläche von rund 10.500 Fußballfeldern – d.h. im Schnitt rund 38 Fußballfelder je Tiroler Gemeinde.
- Die in den Sektoren benötigte Wärme wird v.a. durch dezentrale Wärmepumpen unter Einsatz von Strom gewonnen oder aber über Fernwärme bereitgestellt, die überwiegend aus den holzgeführten Heizwerken stammt.

11.5 Szenario IV – „Energiemix“ / Flussbild

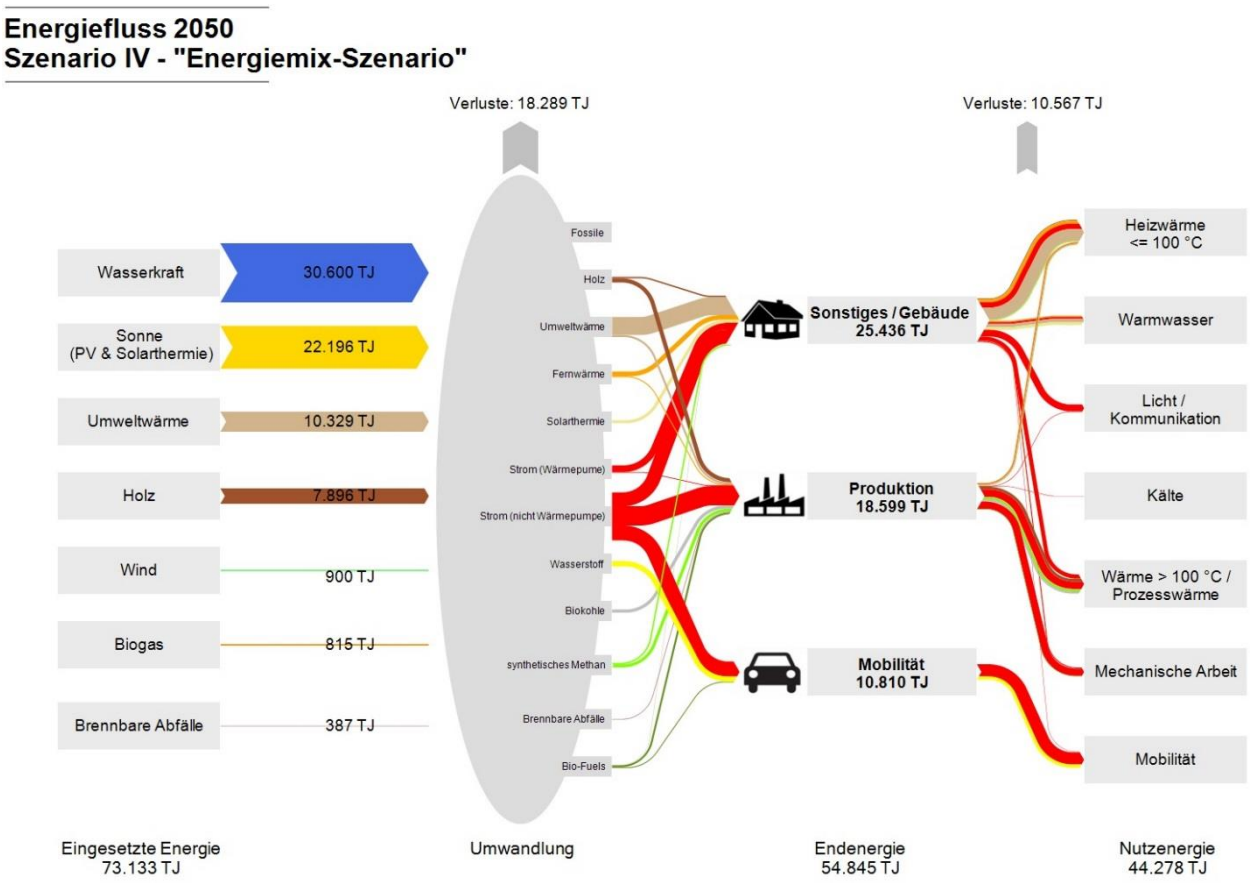


Abb. 21: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse Szenario IV – Szenario „Energiemix“.

Folgende Kernaussagen können formuliert werden:

Szenarientyp

- Das Szenario basiert auf einem Energiemix.
- Ausgangspunkt des gewählten Energiemixes ist die Überlegung, dass es immer wieder Fälle geben wird, in denen die eine oder andere Technologie nicht umgesetzt werden kann. Das Szenario deckt somit eine größere Vielfalt an Technologien ab als die jeweils anderen Szenarien für sich.

Nutzenergie

- Der Nutzenergiebedarf liegt bei rund 44.300 TJ; rund 10 % unter dem des Jahres 2016.
- Die Verluste beim Übergang von der Endenergieebene zu Nutzenergieebene sind mit im Mittel rund 19 % gegenüber dem heutigen Wert von -44 % mehr als halbiert. Dies liegt vor allem am Technologiesprung im Sektor Mobilität in dem gegenüber 2016 (77 % Verluste) durch ausgeprägte Effizienzsteigerungen (Elektromobilität), im Jahr 2050 lediglich noch Verluste in Höhe von rund 26 % zu erwarten sind.

Endenergie

- Der Endenergiebedarf liegt bei rund 54.800 TJ und somit um rund 37 % unter dem der Jahre 2005 und 2016.
- Strom spielt mit 52% die dominierende Rolle beim Endenergieeinsatz. 19 % entfallen auf die Umweltwärme, 5 % bzw. 4 % auf Methan bzw. Wasserstoff.
- Das in den vergangenen Jahren massiv ausgebaute Erdgasnetz kann zumindest in geringem Ausmaß im Bereich der Gebäude und der Produktion weiter genutzt werden.
- Aufgrund der angesetzten Umstellung auf Strom- und Wasserstoffbetrieb im Bereich der Mobilität und der damit einhergehenden Effizienzsteigerung gegenüber den heutigen Verbrennungsmotoren beträgt der Anteil des Sektors Mobilität statt der heutigen rund 35 % nur mehr rund 20 %. am Endenergieeinsatz
- Power-to-Gas Methan wird lediglich in den Sektoren Sonstiges zur Wärmebereitstellung in Gebäuden sowie im Bereich der Produktion eingesetzt, vorrangig Strom und in geringerem Ausmaß Wasserstoff in den Sektoren Produktion und Mobilität.
- Um den Endenergieeinsatz vollständig durch Erneuerbare zu decken, ist ein Ausbau der Erneuerbaren Energien gegenüber dem Jahr 2005 um rund 80 %, gegenüber dem Jahr 2016 um rund 55 % notwendig.

Umwandlung

- Strom ist der entscheidende Energieträger im vorgelagerten Umwandlungsbereich dieses Szenarios. Sein Bedarf steigt gegenüber 2016 im Umwandlungsbereich um rund 120 % auf rund 52.200 TJ. Bedeutende Mengen hiervon werden in Höhe von rund 5.600 TJ für die Produktion von Methan benötigt, wobei durch Prozessoptimierung und den Einsatz von Wärme aus mit Holz betriebenen Heizwerken der Stromeinsatz bereits reduziert wird. Rund 5.900 TJ Strom werden zur Erzeugung von Wasserstoff für den Bereich der Mobilität eingesetzt. Der benötigte Strom für Pumpspeicherkraftwerke sowie für den „Ausgleich“ für importierte Biofuels und Biokohle ändert sich gegenüber Szenario I nicht und liegt in Summe bei rund 11.000 TJ.
- In Summe werden in der vorgelagerten Prozesskette im Jahr 2050 somit rund 28.400 TJ mehr an Strom benötigt als in Szenario I. Stromimporte und -exporte werden im Flussbild nachrichtlich mit jeweils 30.000 TJ angegeben, was in etwa dem Wert des Jahres 2016 entspricht. Die tatsächliche Höhe der zukünftigen Stromimporte und -exporte ist nicht absehbar.
- Die Verluste bei der Methanproduktion im Umwandlungsbereich betragen rund 4.200 TJ, die bei der Wasserstoffproduktion rund 2.900 TJ. Zusätzlich fallen rund 400 TJ Leitungs- und Verteilverluste an, in Summe betragen die Verluste somit rund 7.500 TJ.
- Methan und – in geringerem Rahmen – Wasserstoff stellen Möglichkeiten einer längerfristigen Speicherung von Energie dar. Wasserstoff hat dabei seine Bedeutung v.a. in der Mobilität oder bei on-demand-Lösungen in der Industrie. Positiv ist sicherlich die teilweise weitere Nutzung der bereits heute bestehenden Gas-Infrastruktur.

Ressourcen

- Um den benötigten Strombedarf zu decken, ist – wie in den Szenarien I bis IIIa – der Ausbau der

Wasserkraft im Saldo um 10.000 TJ gegenüber dem Jahr 2011 notwendig. 900 TJ Strom müssen durch Windkraftanlagen gewonnen werden. Etwa die Hälfte des nutzbaren Holzpotenzials wird in Heizwerken eingesetzt, um den Methanisierungsprozess maßgeblich zu unterstützen, oder direkt als Endenergie. Das restliche Holzpotenzial kann z.B. in der stofflichen Verwertung eingesetzt werden. Der Betrieb von KWK-Anlagen ist nicht vorgesehen, da die dort anfallende Wärme zur Bedarfsdeckung nicht benötigt wird. Als einzige Möglichkeit einer weiteren Stromerzeugung verbleibt nur der Ausbau der Photovoltaikanlagen. 90 % aller geeigneten Dachflächen sind mit Photovoltaik-Modulen zu bestücken. Die hiermit erzielbaren rund 15.000 TJ stellen jedoch nur rund 72 % des benötigten Photovoltaikstroms dar und reichen nicht aus. Freiflächenanlagen müssen zusätzlich errichtet und betrieben werden. Zur Erzeugung der noch ausstehenden rund 5.800 TJ werden Freiflächenanlagen mit einer Leistung von rund 1,6 Mio. kWp benötigt. Die hierfür benötigten Module bedecken größenmäßig eine Fläche von rund 1.700 Fußballfeldern – d.h. im Schnitt rund 6 Fußballfelder je Tiroler Gemeinde.

- Die in den Sektoren benötigte Wärme wird v.a. durch dezentrale Wärmepumpen unter Einsatz von Strom gewonnen oder aber über Fernwärme bereitgestellt, die überwiegend aus den holzgeführten Heizwerken stammt.

11.6 Szenarien-Vergleich

11.6.1 Energiesysteme der Szenarien - gesamt

Tab. 28, Tab. 30 und Tab. 29 geben einen vergleichenden Überblick über die Energieflüsse der ausgearbeiteten Szenarien mit Gegenüberstellung der Energieflüsse der Jahres 2005 und 2016 und beziffern darüber hinaus den notwendigen zusätzlichen Einsatz Erneuerbarer Energieträger auf Basis des Endenergieeinsatzes sowie des Primärenergieeinsatzes bis zum Jahr 2050.

Tab. 28: Gegenüberstellung Energiestufen 2005, 2016 und Szenarien 2050.

	Eingesetzte Energie*	**Verluste** Energieeinsatz/ Endenergie	**Endenergie**				**Verluste** Endenergie/ Nutzenergie	**Nutz-energie**
			Gesamt	davon Anteile der Sektoren				
				Sonstiges	**Produktion**	**Mobilität**		
	[TJ]	**[TJ]**	**[TJ]**	**[%]**	**[%]**	**[%]**	**[TJ]**	**[TJ]**
2005	**101.465**	14.208	**87.257**	42%	24%	34%		
2016	**100.481**	13.201	**87.280**	41%	24%	35%	38.125	**49.122**
Sz. I	**67.758**	13.609	**54.151**	47%	34%	19%	9.834	**44.278**
Sz. II	**78.555**	22.640	**55.916**	45%	35%	20%	11.600	
Sz. III	**147.635**	74.876	**72.761**	36%	27%	37%	28.527	
Sz. IIIa	**103.546**	46.908	**56.640**	45%	35%	20%	12.406	
Sz. IV	**73.133**	18.289	**54.845**	46%	34%	20%	10.567	

* Exklusive Strom-Importe und Strom-Exporte.

Tab. 28 zeigt den deutlich höheren Energiebedarf – sowohl auf Endenergieebene als auch Primärenergieebene – der Wasserstoff- und Methanszenarien II, III und IIIa gegenüber dem strombasierten Szenario I und dem Energiemix-Szenario IV.

Tab. 29 beleuchtet die Situation auf Primärenergieebene. Es zeigt sich, dass zur Erlangung der Energieautonomie Tirols der Einsatz Erneuerbarer Energien gegenüber ‚heute' deutlich gesteigert werden muss. Wurden im Tiroler Energiesystem im Jahre 2016 knapp 40.000 TJ an Erneuerbarer Energie auf Primärenergieebene eingesetzt, so bedarf es 2050 gemäß Szenario I mit knapp 68.000 TJ um rund 28.000 TJ zusätzliche Energie aus Erneuerbaren, was einen zusätzlichen Einsatz Erneuerbarer um rund 70 % bedeutet. Aufgrund ungünstigerer Wirkungsgrade in der Umwandlungskette bis hin zur Nutzenergieebene liegt der notwendige zusätzliche Einsatz Erneuerbarer auf Primärenergieebene in sämtlichen anderen ausgearbeiteten Szenarien mitunter bedeutend höher und erreicht beim Szenario III (Methan-maximiert) mit +270 % gegenüber dem Jahr 2016 sein Maximum.

Tab. 29: Notwendiger zusätzlicher Einsatz Erneuerbarer auf Basis Primärenergie.

PRIMÄRENERGIE	Erneuerbare [TJ]	Notwendiger zusätzlicher Einsatz Erneuerbarer ggb. 2005 [TJ]	[%]	Notwendiger zusätzlicher Einsatz Erneuerbarer ggb. 2016 [TJ]	[%]
2005	**37.910**				
2016	**39.916**				
Sz. I	**67.758**	+29.848	+79%	**+27.842**	**+70%**
Sz. II	**78.555**	+40.645	+107%	**+38.639**	**+97%**
Sz. III	**147.635**	+109.725	+289%	**+107.719**	**+270%**
Sz. IIIa	**103.546**	+65.636	+173%	**+63.630**	**+159%**
Sz. IV	**73.133**	+35.223	+93%	**+33.217**	**+83%**

Abb. 22 zeigt einerseits die zur Verfügung stehenden nutzbaren Energiepotenziale, andererseits die Art und Menge der einzusetzenden nutzbaren Potenziale in den ausgearbeiteten Szenarien. Da die nutzbaren Potenziale der Erd- und Luftwärme sowie der Freiland-Photovoltaikanlagen nicht zu beziffern sind, ist die Darstellung der nutzbaren Potenziale „nach oben offen".

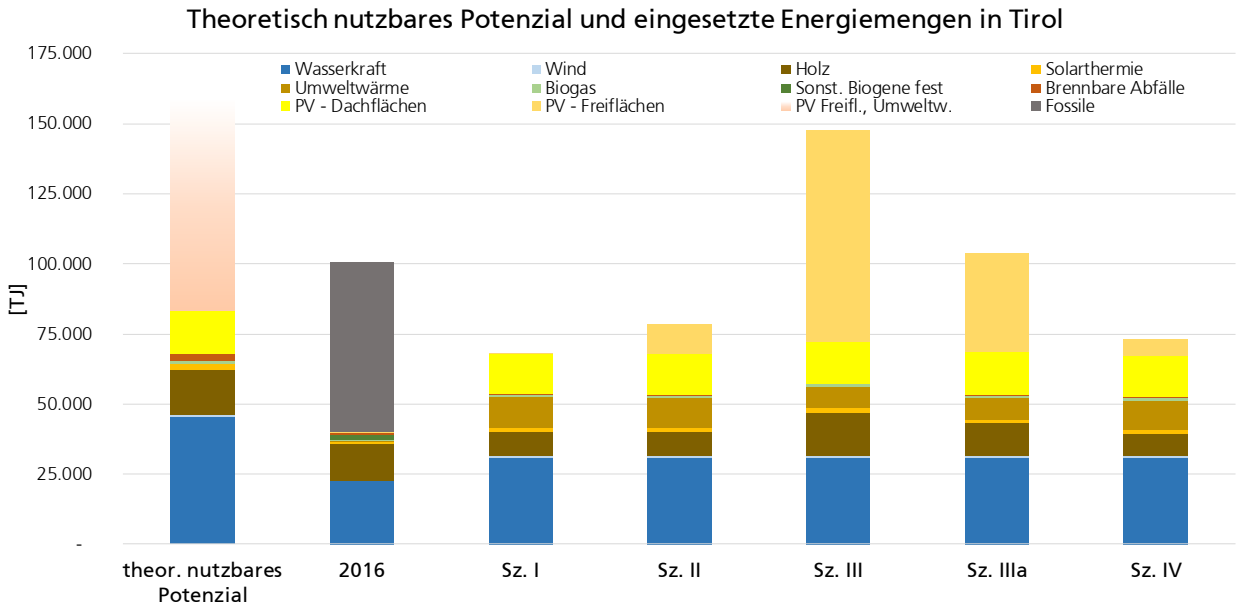


Abb. 22: Gegenüberstellung des nutzbaren Potenzials und er einzusetzenden Energiemengen des Jahres 2016 sowie der Szenarien 2050 auf Energieträgerbasis.

Allen Szenarien gemein ist, dass Strom der bedeutendste Energieträger in der vorgelagerten Umwandlungsebene ist. Daher erscheint es absolut notwendig, die Wasserkraft in Tirol zumindest gemäß „Wasserkraftausbauziel 2036" (im Saldo plus 10.000 TJ gegenüber Stand 2011) auszubauen.

Zusätzlich benötigen alle Szenarien die Nutzung der Windenergie im Ausmaß der im Windkriterienkatalog angegebenen Größe (900 TJ). Darüber hinaus sind in allen Szenarien annähernd alle nutzbaren Dachflächen mit Photovoltaikmodulen zu belegen. Freiflächenanlagen sind in allen Szenarien – außer Szenario I – notwendig, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß. Während die notwendigen Flächen bei den Szenarien II und IV noch ggfs. erreichbar erscheinen, ist ein Ausbau in der Größenordnung von Szenario III und IIIa als fraglich zu bezeichnen. Zum Vergleich: Heute verfügen die Tiroler Gemeinden im Schnitt über 1,3 Fußballfelder (AdTLR 2018).

Abb. 23 zeigt, was der in den Szenarien ausgewiesene notwendige Zubau an Photovoltaik-Anlagen bedeutet. Dabei ist zwischen Aufdach- und Freiflächenanlagen zu unterscheiden.

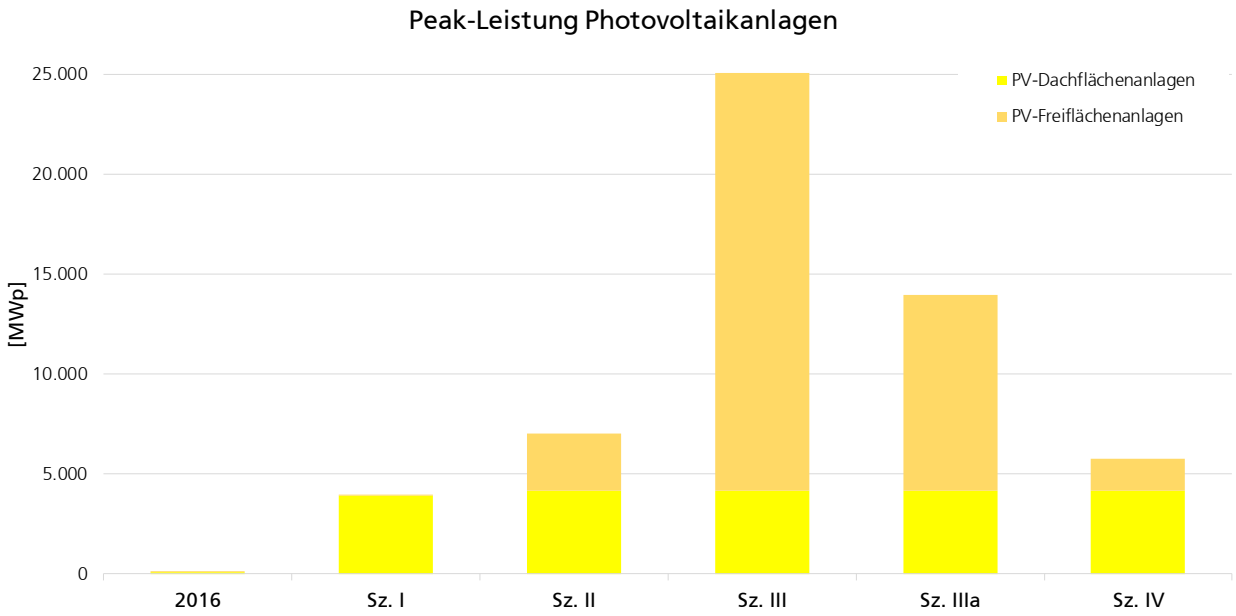


Abb. 23: MWp-Leistungen der notwendigen PV-Anlagen (Dach und Freifläche) der Szenarien.

In Szenario I werden demnach Photovoltaik-Anlagen mit einer Gesamtleistung von rund 3.900 MWp benötigt, was in etwa 785.000 „Standard"-Photovoltaikanlagen für Einfamilienhäusern (5 kWp-Anlagen) entspricht. Es wird ersichtlich, dass es bei rund 178.000 Gebäuden in Tirol (Stand 2011) (STATISTIK AUSTRIA 2013) nicht ausreichen wird, je Bestandsgebäude eine „Standard"-Photovoltaikanlage (5 kWp) zu errichten, sondern dass tatsächlich annähernd sämtlich nutzbaren Dachflächen mit Modulen belegt werden müssen.
Für die Szenarien II bis IV werden alle geeigneten Dachflächen benötigt. Ergänzend hierzu sind Freiflächenanlagen in unterschiedlichem Ausmaß notwendig. Bei Szenario IV würden diese rund sechs Fußballfelder je Tiroler Gemeinde umfassen, bei Szenario II bereits elf fußballfeldgroße Anlagen. Die Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen für Szenarien III und IIIa erscheint aus heutiger Sicht nicht realistisch.

Bezüglich des Endenergieeinsatzes weisen Szenario I (Strom-Szenario) sowie Szenario IV (Energiemix-Szenario) mit rund 54.500 TJ in etwa vergleichbare Werte auf (Tab. 30). Zur vollständigen Verdrängung fossiler Energie auf Endenergiebasis ist ein zusätzlicher Einsatz Erneuerbarer Energien um +53% (Szenario I) bzw. +55% (Szenario IV) gegenüber 2016 auf Endenergieebene notwendig. Vor allem aufgrund der hohen Verluste beim Betrieb gasbetriebener Fahrzeuge weist auch bei Betrachtung auf Endenergieebene der notwendige zusätzliche Einsatz Erneuerbarer bei Szenario III (Methan-maximiert) die höchsten Werte auf (+105%).

Tab. 30: Notwendiger zusätzlicher Einsatz Erneuerbarer auf Basis Endenergie.

ENDENERGIE	**Fossile** [TJ]	**Erneuerbare** [TJ]	Notwendiger zusätzlicher Einsatz Erneuerbarer ggb. 2005 [TJ]	[%]	**Notwendiger zusätzlicher Einsatz Erneuerbarer ggb. 2016** [TJ]	**[%]**
2005	56.865	**30.392**				
2016	51.873	**35.407**				
Sz. I	-	**54.151**	+23.759	+78%	+18.744	**+53%**
Sz. II	-	**55.916**	+25.524	+84%	+20.509	**+58%**
Sz. III	-	**72.761**	+42.369	+139%	+37.354	**+105%**
Sz. IIIa	-	**56.640**	+26.248	+86%	+21.233	**+60%**
Sz. IV	-	**54.845**	+24.453	+80%	+19.438	**+55%**

Abb. 24 stellt einerseits die Höhe des Endenergieeinsatzes der ausgearbeiteten Szenarien dem Einsatz des Jahres 2016 gegenüber, der in etwa gleich hoch ist wie der des Jahres 2005 – jedoch bei einem abweichenden Energiemix zugunsten Erneuerbarer (s.a. Tab. 30). Zusätzlich sind in Abb. 24 für jedes Szenario die eingesetzten Energieträger angeführt. Es zeigt sich, dass – bis auf Szenario III – in allen Szenarien Strom der bedeutendste Energieträger auf Endenergiebasis ist. Der Anteil der Fernwärme ist relativ gering, allerdings konstant. Für die Wärmebereitstellung v.a. in Gebäuden (Sektor Sonstiges) spielt die Umweltwärme die bedeutende Rolle. Weiter zeigt sich, dass – sobald im Mobilitätsbereich von Elektro- oder Wasserstoffantrieb Abstand genommen wird – der Endenergieeinsatz aufgrund des schlechten Wirkungsgrads von Gas-Verbrennungsmotoren stark ansteigt.

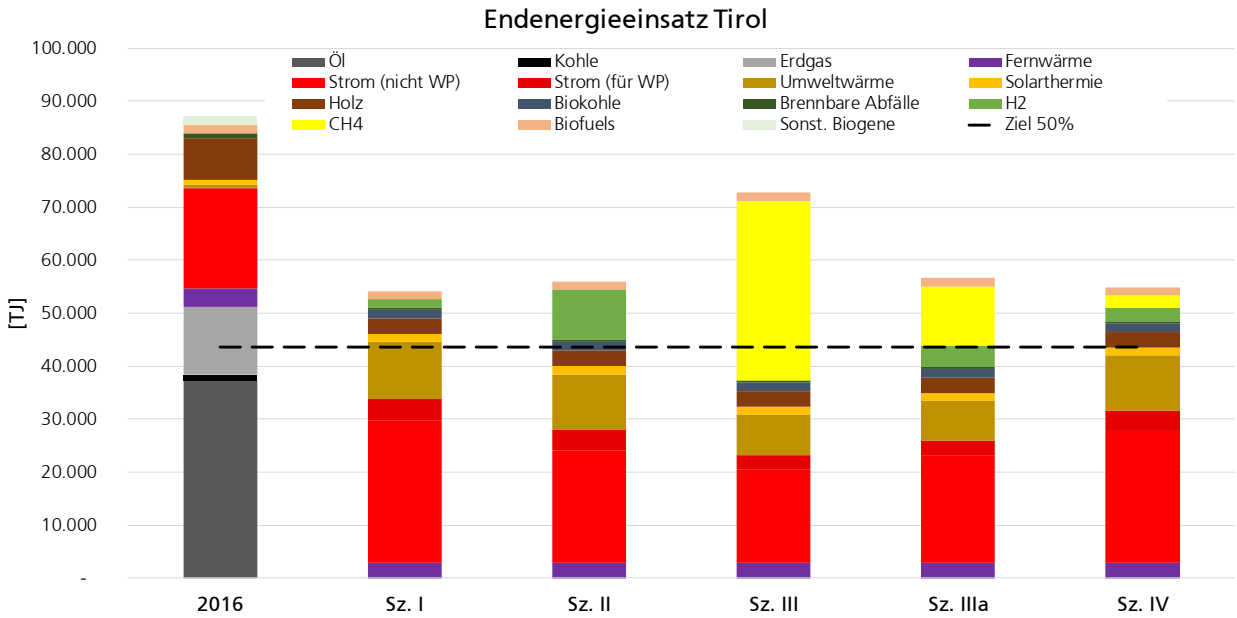


Abb. 24: Gegenüberstellung des Endenergieeinsatzes sowie der Energieträger des Jahres 2016 sowie der Szenarien 2050.

11.6.2 Sektor Mobilität

In allen Szenarien wird davon ausgegangen, dass die Nutzenergie für Mobilität auf Basis der Bevölkerungsprognose (Abb. 43) und unter Annahme gleichbleibendem Nutzerverhaltens gegenüber 2011 um 11 % steigt (Abb. 25). Die Umstellung auf die neuen Antriebstechnologien bedeutet nicht nur einen Verzicht auf fossile Treibstoffe, sondern bewirkt durch höhere Wirkungsgrade der Elektromotoren auch in allen Szenarien eine Senkung des Endenergiebedarfs im Jahr 2050. Jedoch kann die Verringerung je nach Szenario beträchtlich variieren (Abb. 26). Den größten Endenergiebedarf weist wegen des ungünstigen Wirkungsgrades der Gasmotoren das Methan-Szenario auf. Die Szenarien mit Strom- und Wasserstoffeinsatz und das Energiemix-Szenario unterscheiden sich im Endenergiebedarf nicht wesentlich. Bei maximalem Stromeinsatz im Szenario I wird beinahe die Reduktion des Endenergiebedarfs im Mobilitätssektor von 71 % erreicht (ADTLR 2017). Das bedeutet aber auch, dass dieses Ziel nur mit einer Verhaltensänderung (Reduktion der Nutzenergie) zu erreichen wäre.

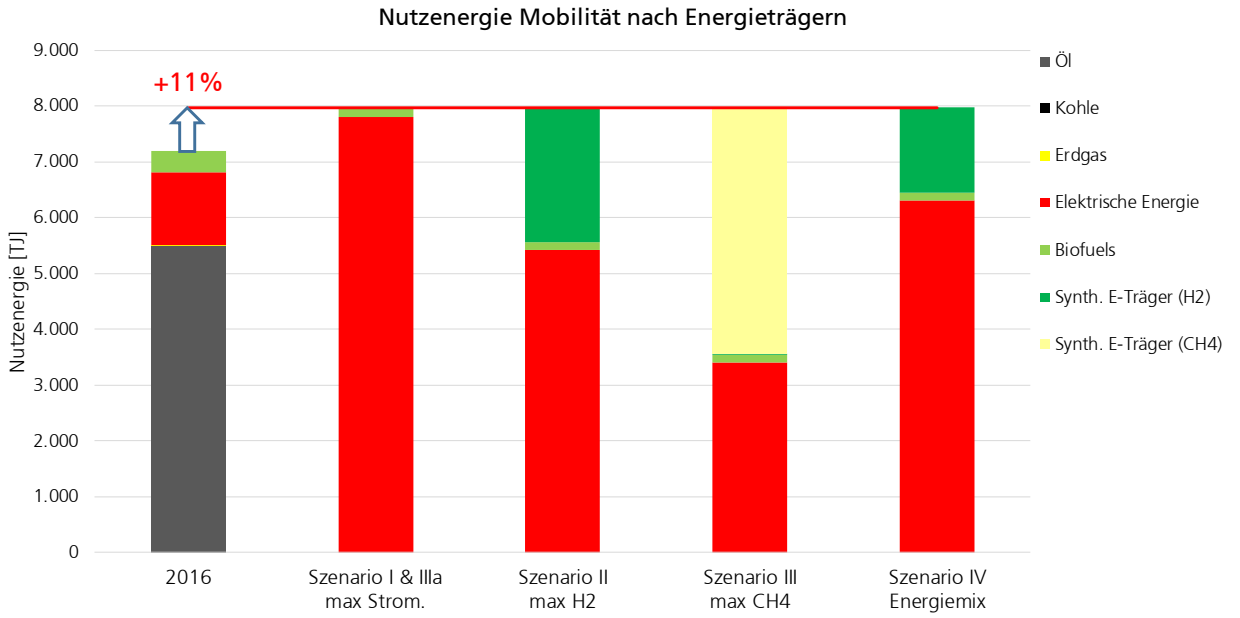


Abb. 25: Vergleich der Energieträger im Nutzenergieeinsatz der einzelnen Szenarien mit dem Vergleichsjahr 2016 (Sektor Mobilität).

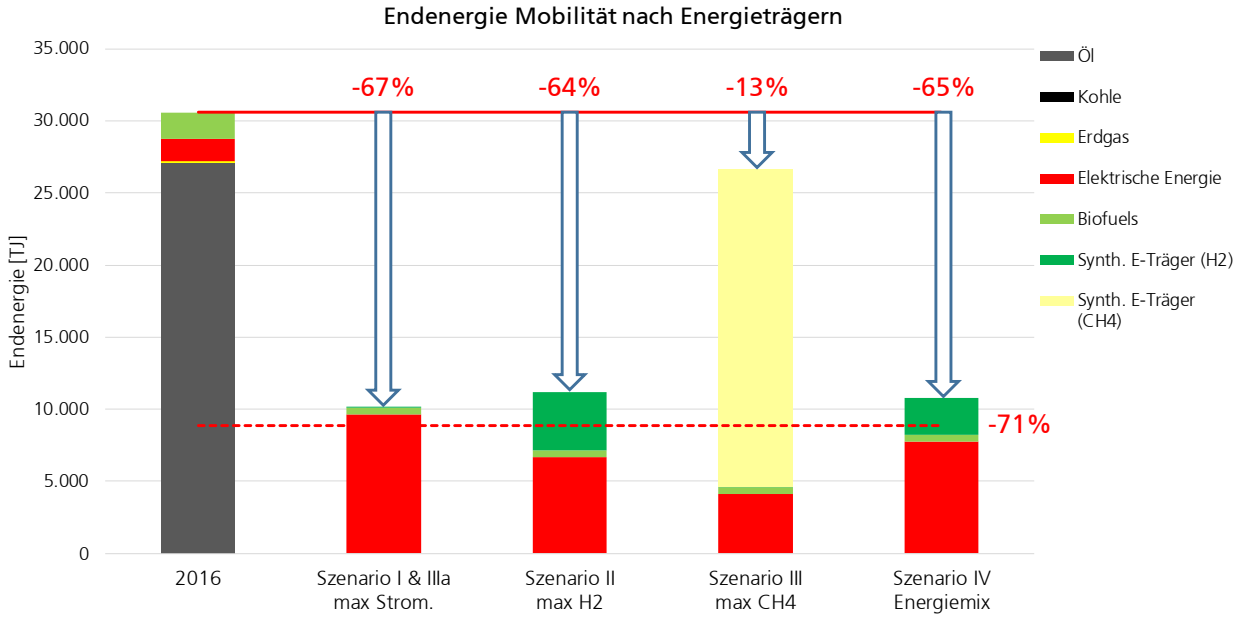


Abb. 26: Vergleich der Endenergie der einzelnen Szenarien mit dem Jahr 2016 (Sektor Mobilität).

11.6.3 Sektor Produktion

Im Sektor Produktion kann der Mehrbedarf an Energie – bedingt durch die angenommene Produktionssteigerung von 1,5 % pro Jahr – nur durch massive Effizienzsteigerungsmaßnahmen kompensiert bzw. weiter reduziert werden. Die Effizienzsteigerungen machen sich im Nutzenergie-Einsatz bemerkbar – dieser steigt zum Vergleich zum Basisjahr 2016 durchschnittlich um 7,7 % in allen Szenarien (Abb. 27).

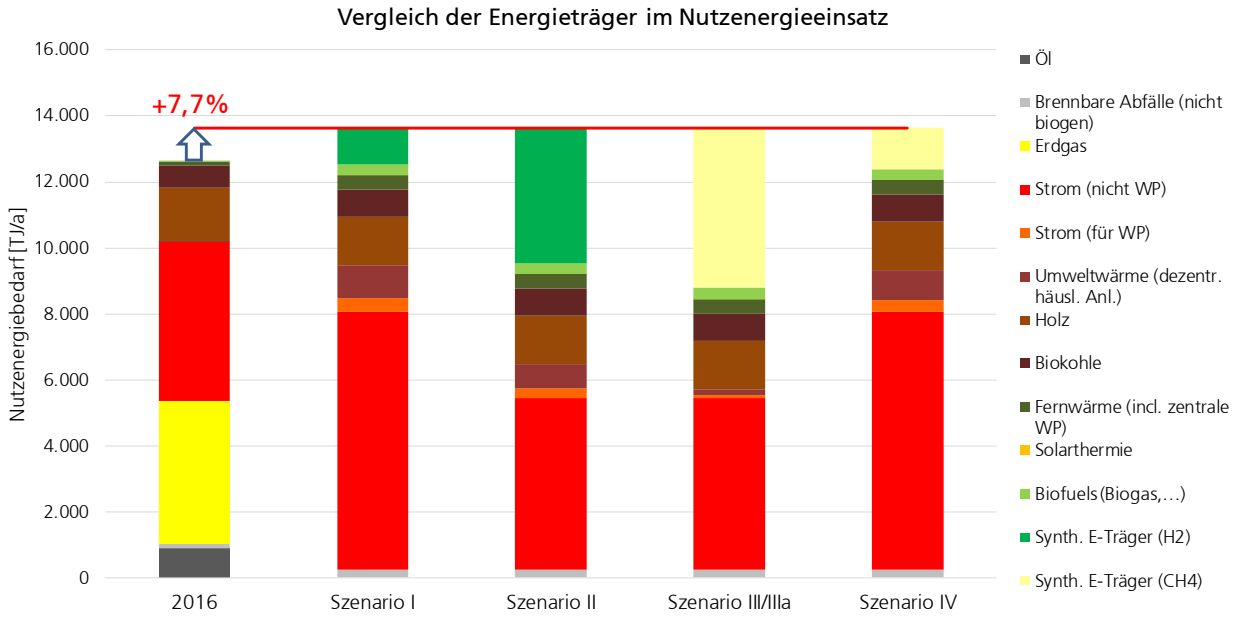


Abb. 27: Vergleich der Energieträger im Nutzenergieeinsatz der einzelnen Szenarien mit dem Vergleichsjahr 2016 (Sektor Produktion).

Die Verteilungen der unterschiedlichen Sekundärenergieträger bezogen auf die Nutzenergie sind Abb. 27 zu entnehmen. Wird die Effizienzsteigerung bezogen auf die Nutzenergie in allen Szenarien beibehalten, so verändert sich der Endenergieeinsatz aufgrund der unterschiedlichen Effizienzen der Umwandlungstechnologien. Einen Überblick hierzu gibt Abb. 28. Je höher der Anteil an Strom als Sekundärenergieträger, desto geringer auch die Umwandlungsverluste von Endenergie zu Nutzenergie. Daraus ergibt sich in den Szenarien eine Reduktion des Endenergieeinsatzes zwischen 5,2 % im Szenario III/IIIa („Methan-Szenarien“) und rund 11 % in den strombasierten Szenarien I und IV.

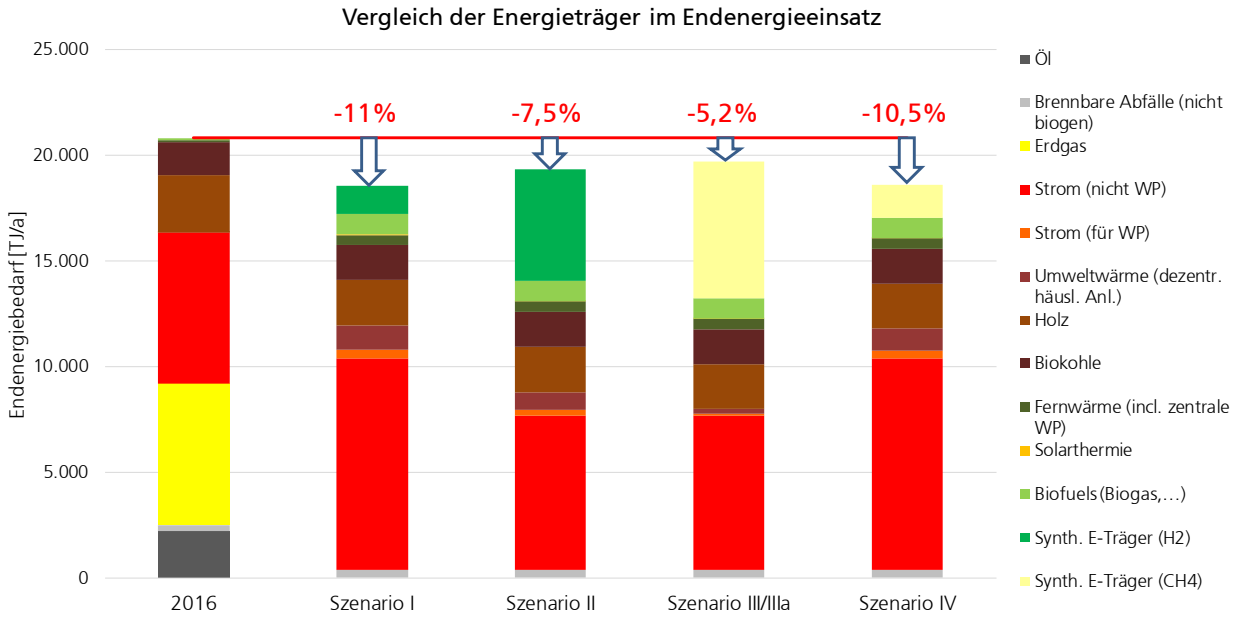


Abb. 28: Vergleich der Endenergie der einzelnen Szenarien mit dem Jahr 2016 (Sektor Produktion).

11.6.4 Sektor Sonstiges

In den Szenarien im Sektor Sonstiges kommt es – anders als in den Sektoren Mobilität und Produktion – nicht nur im End-, sondern auch im Nutzenergiebedarf zu einer deutlichen Reduktion.

Zwar kommt es durch Bevölkerungswachstum – aber auch durch eine Steigerung der Dienstleistungen – vor allem in der Tourismusbranche zu einem erhöhten Flächenbedarf, aber durch eine deutlich verbesserte Gebäudesubstanz verringert sich der Nutzenergiebedarf um 24,5 % bei gleichbleibendem – oder sogar steigendem – Wohnkomfort. Die Verteilung der Energieträger für die Bereitstellung der Nutzenergie ist in Abb. 29 ersichtlich.

Durch die thermische Sanierung der Gebäude ergibt sich eine Reduktion des Endenergiebedarfs von 31,7 %. Für den gesamten Sektor Sonstiges inklusive Landwirtschaft und Prozesswärme der öffentlichen und privaten Dienstleistungen beträgt die Reduktion des Endenergiebedarfs zwischen 26,5 und 29,0 %. Die Szenarien I bis IV unterscheiden sich nur geringfügig im Endenergiebedarf. Bei der Energieträgerverteilung werden die elektrisch betriebenen Wärmepumpen in den Szenarien III, IIIa und IV entsprechend der Annahmen durch Methan aus Power-to-Gas ersetzt (Abb. 30).

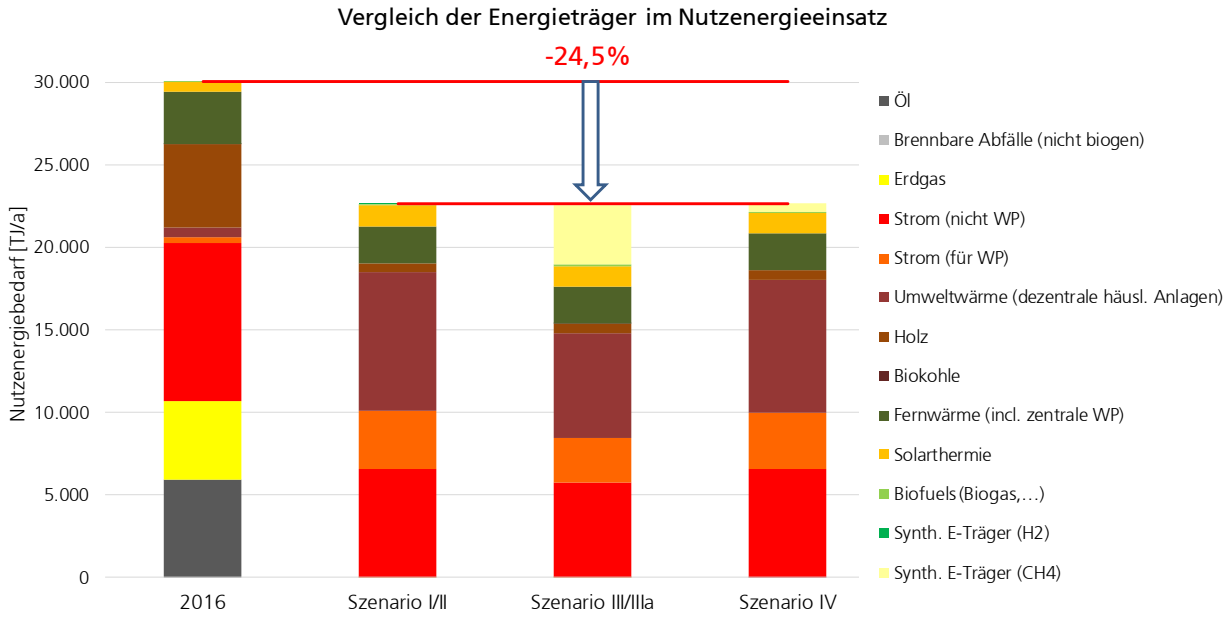


Abb. 29: Vergleich der Nutzenergie der einzelnen Szenarien mit dem Jahr 2016 (Sektor Sonstige).

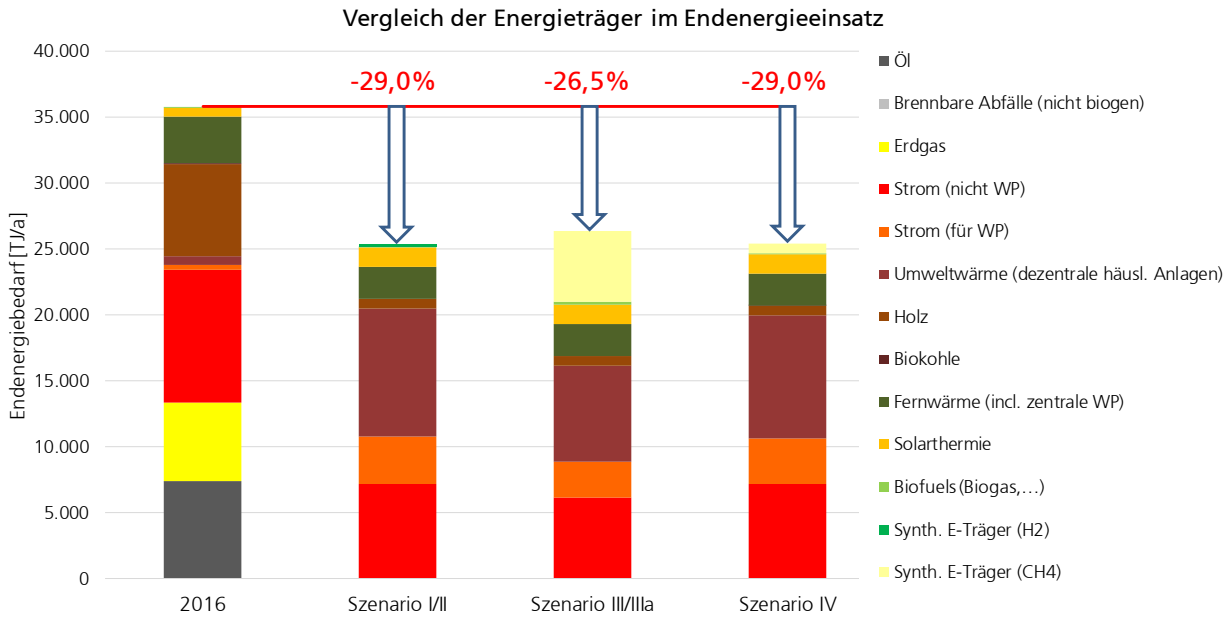


Abb. 30: Vergleich der Endenergie der einzelnen Szenarien mit dem Jahr 2016 (Sektor Sonstige).

12 ZUSAMMENFASSUNG

Die Tiroler Landesregierung hat sich zum Ziel der Energieautonomie bis zum Jahr 2050 und zum nahezu vollständigen Verzicht auf fossile Energieträger bekannt (z.B. ADTLR 2014). Die Förderung des Ausbaus erneuerbarer Energieträger, der sparsame Umgang mit Energie und ein effizienter Energieeinsatz bilden die Säulen der Tiroler Energiestrategie. Der gesamte Energiebedarf soll bis zum Jahr 2050 durch heimische, erneuerbare Energiequellen gedeckt werden. Die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern soll das Land in seiner politischen Ausrichtung autonom machen und Tirol ein hohes Maß an Wertschöpfung bringen (ADTLR 2014).

Die Energieziele des Landes orientieren sich dabei an Europäischen (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2011, 2013) und Bundes-Zielen sowie den Pariser Beschlüssen (UN 2015) und gehen mit deren Zielsetzungen konform.

Eine Gesamt-Untersuchung, wie die Energieautonomie Tirols erreicht werden kann, welche nutzbaren Energieressourcen und in welchem Umfang zur Verfügung stehen, wie hoch der Energiebedarf auf den diversen Energieebenen (Nutz-, End- Sekundärenergie) im Jahr 2050 sein wird und welche Technologien in welchen Sektoren einzusetzen sind, damit das Autonomieziel im Jahressaldo erreicht werden kann, wurde bisher nicht mit dem Detaillierungsgrad, wie er nun mit ggst. Bericht vorliegt, durchgeführt. Die bisherige energiestrategische Ausrichtung Tirols baute auf den Ergebnissen der Studie ‚Energieautarkie für Österreich 2050' des Jahres 2010 auf (STREICHER et al. 2010). Im Vergleich zu Österreich weist Tirol jedoch stark abweichende geographische und klimatische Verhältnisse auf. Auch im Bereich der zur Verfügung stehenden Technologien gab es in den vergangenen Jahren wesentliche Fortschritte. Die Österreich-Ergebnisse sind daher nur bedingt auf Tirol übertragbar. Seitens des Landes Tirol wurde das Konsortium beauftragt, mögliche Szenarien zu erarbeiten und in regelmäßiger Rückkopplung mit einem weiten Kreis von Experten zu hinterfragen und zu verfeinern, wie und unter Einsatz welcher Ressourcen und welcher Technologien die Energieautonomie in Tirol gelingen könne.

Basis der Untersuchung stellen die Bundesländer-Energiebilanzen Tirol 1988-2016 sowie die Nutzenergieanalysen dar. Über die Annahme von Wirkungsgraden in den einzelnen Sektoren wurden die Nutzenergiebedarfe auf Energieträgerbasis abgeschätzt und auf das Jahr 2050 gerechnet. Im Sinne eines Technologieeinsatzszenarios wurden Szenarien unter der Annahme eines gleichbleibenden Nutzerverhaltens entwickelt. Eventuelle grundsätzliche Verhaltensänderungen gegenüber heute (z.B. Verkehrsmittelwahl und -nutzung) wurden demnach nicht zu Grunde gelegt. Über die Annahme eingesetzter Technologien und Wirkungsgrade im Jahre 2050 wurden so ausgehend vom Nutzenergiebedarf die notwendige Endenergie sowie die Sekundärenergie ermittelt unter Beachtung der zur Verfügung stehenden nutzbaren Energieressourcen.
Je nach Schwerpunktsetzung der eingesetzten Energieträger wurden insgesamt drei Grenzwertszenarien, ein adaptiertes Grenzwertszenario sowie ein Energiemix-Szenario ausgearbeitet und dem Energiesystem des Jahres 2016 gegenübergestellt:

- Szenario I maximierter Strom-Einsatz
- Szenario II maximierter Wasserstoff-Einsatz
- Szenario III maximierter Methan-Einsatz[5]
- Szenario IIIa adaptierter Methan-Einsatz
- Szenario IV Energiemix

Im Ergebnis zeigt sich, dass der Endenergieeinsatz der Szenarien I und IV mit rund 54.500 TJ am geringsten ist, die notwendige eingesetzte Energiemenge zur Bereitstellung der Endenergie bei Szenario I allerdings mit rund 68.000 TJ rund 5.000 TJ niedriger ist als bei Szenario IV.
Szenarien II und IIIa weisen nur geringfügig höhere Endenergiebedarfe auf (plus rund 3 bis 4 %), jedoch steigen die notwendigen Energiebedarfe im vorgelagerten Umwandlungsbereich gegenüber Szenario I um 15 % bzw. um 53 %. Grund hierfür sind vor allem die ungünstigen Wirkungsgrade bei der Herstellung von Wasserstoff und Methan.
Szenario III hingegen weist den mit Abstand höchsten Endenergiebedarf v.a. aufgrund des schlechten Wirkungsgrads bei gasbetriebenen Antriebstechnologien im Mobilitätsbereich auf. Im Umwandlungsbereich liegt der Energiebedarf um rund 120 % über dem des Szenario I – Grund hierfür sind die hohen Verluste bei der Herstellung synthetischen Methans (s.a. Abb. 24).

Die Szenarien II, III und IIIa zeigen deutlich, was es – v.a. für den Energiebedarf im vorgelagerten Umwandlungsbereich – bedeuten würde, wenn die Energieversorgung maximiert auf Wasserstoff oder Methan umgestellt werden würde. Das Ergebnis der Szenarien III und IIIa zeigt beispielsweise, welcher großen Strommengen es bedarf, die heute mit Erdgas betriebene Gasinfrastruktur vollständig mit synthetisch erzeugtem Methan zu bedienen. Um den Strombedarf nur im Jahressaldo decken zu können, bedarf es einer nahezu vollständigen Nutzung der geeigneten Dachflächen durch Photovoltaikanlagen sowie umfangreichster weitere Freiflächenanlagen. Dies gilt in abgeschwächter Form auch für den maximierten Einsatz von Wasserstoff (Szenario II).

Szenario I und IV können hinsichtlich der Möglichkeit der Umsetzung der notwendigen Energieerzeugungsanlagen als theoretisch umsetzbar betrachtet werden – jedoch nur unter enormen Anstrengungen. Auch bei diesen Szenarien sind bereits annähernd sämtliche Dachflächen mit Photovoltaik-Modulen zu bestücken, um den Strombedarf im Jahressaldo zu decken. Bei Szenario IV sind darüber hinaus ebenfalls Freiflächenanlagen notwendig.

Die ggst. Studie wurde unter der Prämisse einer Energieautonomie im Jahressaldo erstellt und deckt sich

[5] Die Methan-Szenarien sind nicht konform zum Innsbrucker Beschluss.

damit mit den Ansprüchen der Tiroler Energiestrategie. Die Frage der zeitlichen Energieverfügbarkeit sowie des Energiebedarfs im Jahresverlauf konnte damit noch nicht eingehend behandelt werden. Tatsächlich ist die Erzeugung aus Wasserkraft und Photovoltaik in Tirol dann gering, wenn der Tiroler Energiebedarf am höchsten ist – zur Zeit des maximalen Heizwärmebedarfs mit Übernachtungs- und Aktivitätsmaximum im Tourismus.

Die Untersuchung der Möglichkeiten der zeitlichen Verlagerung verfügbarer eigener Energie durch Speicherung konnte im ggst. Projekt nicht betrachtet werden. Dies sollte jedenfalls in einer nachgelagerten Studie näher untersucht werden.

Aus der Szenarienbetrachtung konnten folgende Kernaussagen abgeleitet werden:

- Die bisher angestrebte Reduktion des Energiebedarfs um 50 % gegenüber 2005 ist unter den vorgegebenen Prämissen alleine durch Technologieeinsatz nicht zu erreichen.
- Die größten Energieeinsparungen ergeben sich durch den Einsatz von Technologien, die elektrische Energie direkt bzw. Umweltwärme nutzen.
- Mit dem Umbau des Energiesystems Richtung Energieautonomie steigt gegenüber heute der Energiebedarf im Umwandlungsbereich stark an, da Umwandlungsverluste nun in der Tiroler Bilanz sichtbar werden, die bisher ‚ausgelagert' waren. Vor allem wenn in Szenarien bedeutende Mengen von Wasserstoff und Methan berücksichtigt werden, wird sehr viel Strom benötigt, der in Tirol in nennenswerter Weise bei vertretbaren Wirkungsgraden lediglich über Wasserkraft oder Photovoltaik erzeugt werden kann.
- Tirol verfügt grundsätzlich über ein großes Potenzial an Energieressourcen, welche für eine zukünftige Nutzung bereit stehen.
- Die Erreichung des Wasserkraftausbauziels 2036 ist in allen Szenarien für eine Zielerreichung absolut notwendig und muss prioritär vorangetrieben werden. Eventuelle Einbußen durch Umsetzung der EU-WRRL müssen zusätzlich ausgeglichen werden.
- Ein massiver Photovoltaikausbau ist ebenso wichtig. Annähernd sämtliche nutzbaren Dachflächen sind in allen Szenarien mit Modulen flächeneckend zu bestücken. Je nach Szenario wird auch eine ergänzende – teils sehr umfangreiche – Errichtung von Freiflächenanlagen notwendig. Wobei beim Ausbau die Mitentwicklung von Speicherung und Netzinfrastruktur erforderlich ist.
- Das Energieholzdargebot im Jahr 2050 ist schwer abschätzbar und ist v.a. von den Entwicklungen in der Holzindustrie (Importe) abhängig. Abgesehen von den Szenarien III und IIIa sollten jedoch beträchtliche Mengen für eine anderweitige – nicht energetische – stoffliche Nutzung verbleiben.
- Die Nutzung des Biogaspotenzials ist zwar mengenmäßig in Relation nicht hoch – als Ersatz für Erdgas jedoch wichtig in der zukünftigen Bedarfsdeckung.
- Da Strom der wichtigste Energieträger auch im Jahr 2050 sein wird, sollte auch das nutzbare Windpotenzial möglichst gehoben werden, auch wenn der erzielbare Wert von 900 TJ relativ gering erscheint.
- Die Umweltwärme spielt in den Szenarien I, II und IV die bedeutendste Rolle in der Energiebedarfsdeckung des Sektors Sonstige – v.a. für die Deckung des Wärmebedarfs in Gebäuden.

- Mittels Photovoltaik und – abgeschwächt – Wasserkraft wird vorzugsweise in den Sommermonaten Strom erzeugt. Der maximale Tiroler Strombedarf entsteht jedoch in den Wintermonaten. Da volatile Energie (Wind, Sonne) auch in den Nachbarländern mit gleichen Technologien in etwa zur selben Zeit erzeugt werden wird, wird die Lösung der Speicherfrage die Herausforderung in den nächsten Jahren und Jahrzehnten.
- Wasserstoff und Methan können eine gewisse Rolle als chemische Energiespeicher einnehmen. Es ist derzeit technologisch noch nicht absehbar, ob diese bei einem großflächigen Einsatz dem volatilen Stromangebot auch tatsächlich folgen können. Eine gleichmäßige Jahresauslastung der Produktionsanlagen ist sowohl wirtschaftlich als auch technisch zu empfehlen. Zusätzlich sind Gase aufgrund ihrer geringen Energiedichte nur bedingt für die Speicherung einsetzbar. Wie weit diese Technologien für die saisonale Energiespeicherung geeignet sind, muss separat untersucht werden.
- Die ausgearbeiteten Szenarien versuchen, die Tiroler Energieflüsse ganzheitlich abzubilden. Für notwendige Energieimporte nach Tirol wie z.B. Biokohle und Biofuels wurden daher entsprechende zu exportierende Energiemengen berücksichtigt, die zur Erzeugung außerhalb Tirols notwendig sind.

Im Gesamtergebnis kann festgehalten werden, dass der Umbau des Energiesystems hin zu einer vollständigen Bedarfsdeckung im Jahressaldo basierend auf heimischen Energieressourcen darstellbar ist. Im Szenario I wird dabei eine Reduktion des Endenergieeinsatzes um rund 38 % erreicht, in den Szenarien II, IIIa und IV um rund 36 %, in Szenario III um lediglich 17 %. Der notwendige Zubau an Erneuerbarer Energie bis 2050 liegt zwischen 78 und 86 %, bei Szenario III sogar bei knapp 140 % gegenüber 2005.

Im Rahmen der Bearbeitung mussten zur Abschätzung der Möglichkeit der technischen Umsetzung zahlreiche Annahmen getroffen werden, die einerseits neben den technischen Möglichkeiten und den verfügbaren nutzbaren heimischen Energiepotenzialen andererseits auch legistische (z.B. gesetzliches Verbot von Ölheizungen (GRABENWARTER et al. 2016)) und sozioökonomische Voraussetzungen betreffen – wie z.B. die allgemeine Akzeptanz und den Umsetzungswillen im Lande. Auswirkungen disruptiver Technologie- und Angebotsentwicklungen (z.B. automatisiertes Fahren bzw. autonome Fahrzeugflotten) konnten nicht berücksichtigt werden. Die Potenziale von Verhaltensänderungen wurden nicht näher untersucht. Die Projektergebnisse machen deutlich, dass eine Zielerreichung ‚Energieautonomie Tirol 2050' nicht durch einige Wenige bzw. durch eine oder wenige Stellen allein erreicht werden kann. Hier sind der Wille zur Umsetzung aller (von den Entscheidungsträgern über Interessensgruppen bis hin zur Bevölkerung) und v.a. auch der Mut aller zu Veränderungen gefragt und notwendig.

13 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Systemverständnis „Ressourcen- und Technologieeinsatzszenarien Tirol 2050“. 14
Abb. 2: Die Energiekette und ihre Begriffe. 16
Abb. 3: Entwicklung des Tiroler Wasserkraftausbaus und Zielpfad bis zum Jahr 2036. 21
Abb. 4: Erzeugter Strom aus Wasserkraft sowie Gesamtstrombedarf Tirols 2016. 23
Abb. 5: Bezirksweise Verteilung der nutzbaren solaren Einstrahlung auf Dachflächen mit einer Einstrahlung von mehr als 950 kWh/(m²·a). 26
Abb. 6: Monatliche Erzeugungspotenziale von PV- und solarthermischen Anlagen bei Vollbelegung nutzbarer Dachflächen mit 95% PV- und 5% solarthermischen Anlagen. 27
Abb. 7: Holzflussbild Tirol 2016. 29
Abb. 8: Räumliche Verteilung der GVE-Bestände im Jahre 2050. 33
Abb. 9: Auswahl der zur Potenzialermittlung herangezogenen Grundwasserkörper Tirols. 36
Abb. 10: Auszug der Windkarte von Österreich – mittlere Jahres-Windgeschwindigkeiten in 100m über Grund. 39
Abb. 11: Endenergiebedarf des Sektors Produktion, Tirol 2016 nach Energieträger. 46
Abb. 12: Verteilung der Sekundärenergieträger am Endenergiebedarf (alle Sektoren). 48
Abb. 13: Endenergiebedarf des Sektors Sonstiges, Tirol 2016 nach Nutzenergieanalyse. 52
Abb. 14: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse in Tirol 2016. 53
Abb. 15: Schematische Darstellung des „Top-down-Bottom-up“-Ansatzes zur Szenarien-Berechnung. 59
Abb. 16: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I und II für den Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie). 74
Abb. 17: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse 2050 im Szenario I – „Strom-Szenario“. 76
Abb. 18: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse 2050 Szenario II – „H_2-Szenario“. 78
Abb. 19: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse 2050 Szenario III – „Methan-Szenario“. 81
Abb. 20: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse Szenario IIIa – „adaptiertes Methan-Szenario“. 84
Abb. 21: Vereinfachte Darstellung der Energieflüsse Szenario IV – Szenario „Energiemix“. 87
Abb. 22: Gegenüberstellung des nutzbaren Potenzials und er einzusetzenden Energiemengen des Jahres 2016 sowie der Szenarien 2050 auf Energieträgerbasis. 91
Abb. 23: MWp-Leistungen der notwendigen PV-Anlagen (Dach und Freifläche) der Szenarien. 92
Abb. 24: Gegenüberstellung des Endenergieeinsatzes sowie der Energieträger des Jahres 2016 sowie der Szenarien 2050. 94
Abb. 25: Vergleich der Energieträger im Nutzenergieeinsatz der einzelnen Szenarien mit dem Vergleichsjahr 2016 (Sektor Mobilität). 95
Abb. 26: Vergleich der Endenergie der einzelnen Szenarien mit dem Jahr 2016 (Sektor Mobilität). 95
Abb. 27: Vergleich der Energieträger im Nutzenergieeinsatz der einzelnen Szenarien mit dem Vergleichsjahr 2016 (Sektor Produktion). 96
Abb. 28: Vergleich der Endenergie der einzelnen Szenarien mit dem Jahr 2016 (Sektor Produktion). 97
Abb. 29: Vergleich der Nutzenergie der einzelnen Szenarien mit dem Jahr 2016 (Sektor Sonstige). 98
Abb. 30: Vergleich der Endenergie der einzelnen Szenarien mit dem Jahr 2016 (Sektor Sonstige). 98
Abb. 31: Mobilitätsbezogene Betrachtung der Systemabgrenzung. 114
Abb. 32: Bereiche und notwendige Daten eines Bottom-Up-Ansatzes. 115
Abb. 33: Anteile der Übernachtungen nach Herkunftsländern in Tirol - Winter 2016/17. 117
Abb. 34: Anteile der Übernachtungen nach Herkunftsländern in Tirol - Sommer 2016. 117
Abb. 35: Endenergiebedarf des Mobilitätssektors 2016. 120
Abb. 36: Entwicklung der Ankünfte in Tirol. 121
Abb. 37: Entwicklung der Übernachtungen in Tirol. 121
Abb. 38: Entwicklung der Aufenthaltsdauer der Gäste in Tirol. 122

Abb. 39: Ergebnis der Bottom-up-Analyse für die Szenarien I bis III – Endenergie [TJ]. 124
Abb. 40: Grobabschätzung des Potenzials zur Energieeinsparung durch Verhaltensänderung. 125
Abb. 41: Kernaussagen Sektor Mobilität. 126
Abb. 42: Durchschnittliche Wohnflächenentwicklung (Nutzfläche) in Tirol. 160
Abb. 43: angenommene zukünftige Bevölkerungsentwicklung in Tirol. 160
Abb. 44: Entwicklung der Brutto-Grundfläche im Gebäude-Bereich, inkl. Industrie. 162
Abb. 45: Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II Wohngebäude für Tirol. 179
Abb. 46: Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II Nicht-Wohngebäude (inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) für Tirol. 180
Abb. 47: Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II für den Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude exkl. Industrie) für Tirol. 181
Abb. 48: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II für Wohngebäude in Tirol. 182
Abb. 49: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II für Nicht-Wohngebäude (inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie). 182
Abb. 50: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II für den Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie). 183
Abb. 51: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II, getrennt nach Wohn- und Nicht-Wohngebäuden (inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie) inkl. Umweltwärme (Solarthermie und Wärmepumpenanteil). 184
Abb. 52: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II, getrennt nach Wohn- und Nicht-Wohngebäuden (inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie) inkl. Umweltwärme (Solarthermie und Wärmepumpenanteil). 184
Abb. 53: Endenergiebedarf von 2050 im Vergleich zu 2016 von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden (inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie). 185
Abb. 54: Prozentuelle Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs für Wohngebäude beim Szenario I&II. 213
Abb. 55: Prozentuelle Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs für Nicht-Wohngebäude (inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) beim Szenario I&II. 213
Abb. 56: Prozentuelle Entwicklung des Gesamt-Wärme-Endenergiebedarfs im Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) beim Szenario I&II. 214
Abb. 57: Prozentuelle Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs für Wohngebäude beim Szenario I&II. 214
Abb. 58: Prozentuelle Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs für Nicht-Wohngebäude (inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) beim Szenario I&II. 215
Abb. 59: Prozentuelle Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs im Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) beim Szenario I&II. 215

14 TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Übersicht über Projektmeilensteine und eine Auswahl von Workshops und Terminen. 13
Tab. 2: Kennziffern zu Dachflächen Tirols. 25
Tab. 3: Regionale Verteilung der Waldflächen in Ertrag und der Holzzuwächse in Tirol. 28
Tab. 4: Zuordnung von Abfallfraktionen. 30
Tab. 5: Übersicht Aufkommen in Tirol 2016 31
Tab. 6: Kennwerte der Biogas-Potenzialermittlung aus Wirtschaftsdünger. 34
Tab. 7: Nutzbares Grundwasserwärmepotenzial Tirols sowie wesentliche Kennziffern der 55 ausgewerteten (Teil-)Grundwasserkörper. 37
Tab. 8: Siedlungsabfälle in Tirol – Fraktionen Haus- und Sperrmüll. 41
Tab. 9: Geschätzte betriebliche und Siedlungsabfälle in Tirol. 41
Tab. 10: Überblick des nutzbaren Energiepotenzials Tirols 2016 und 2050. 43
Tab. 11: Endenergiebedarf 2016 im Transport nach Bereichen [TJ]. 44
Tab. 12: Endenergiebedarf 2016 nach Nutzungskategorien (Auszug) in den einzelnen Sektoren. 47
Tab. 13: Zuordnung der Energiedienstleistung zu Endenergie-Kategorien. 49
Tab. 14: Wirkungsgrade des Übergangs von Endenergie zu Nutzenergie/Energiedienstleistung 2016 und Szenarien 2050. 50
Tab. 15: Datenbasis Wohngebäude. 51
Tab. 16: Datenbasis Nicht-Wohngebäude. 52
Tab. 17: Übersicht der Umwandlungstechnologien und deren Wirkungsgrade. 61
Tab. 18: Fahrleistung und Energiebedarf des Straßenverkehrs in Tirol. 65
Tab. 19: Nutzenergiebedarf des Sektors Mobilität 2050 im Szenario II nach Bereichen. 66
Tab. 20: Endenergiebedarf des Sektors Mobilität 2050 im Szenario II nach Bereichen. 66
Tab. 21: Nutzenergiebedarf des Sektors Mobilität 2016 und 2050. 66
Tab. 22: Endenergiebedarf des Sektors Mobilität 2016 und 2050. 67
Tab. 23: Angesetzte Neubauqualität in Abhängigkeit der Gebäudekategorie. 71
Tab. 24: Angenommener zukünftiger Warmwasserwärmebedarf (Nutzenergie). 71
Tab. 25: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode, Szenarien I, II und III. 72
Tab. 26: Angesetzte Sanierungsqualität für das Szenario III in Abhängigkeit der Gebäudekategorie. 72
Tab. 27: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme (Szenario I und II). 73
Tab. 28: Gegenüberstellung Energiestufen 2005, 2016 und Szenarien 2050. 90
Tab. 29: Notwendiger zusätzlicher Einsatz Erneuerbarer auf Basis Primärenergie. 91
Tab. 30: Notwendiger zusätzlicher Einsatz Erneuerbarer auf Basis Endenergie. 93
Tab. 31: Modal Split der Gäste nach Herkunftsland, Tourismusjahr 2015/16. 118
Tab. 32: Ermittlung des Energiebedarfs für die PKW-Anreise. 119
Tab. 33: Endenergie zu Nutzenergie in den Szenarien I und II im Vergleich zum Basisjahr 2016. 127
Tab. 34: Endenergieeinsatz zu Nutzenergie in den Szenarien III/IIIa und IV im Vergleich zum Basisjahr 2016. 128
Tab. 35: Basisdaten 2016 – Endenergieeinsatz nach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien. 129
Tab. 36: Szenario I – Endenergieeinsatz nach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien. 134
Tab. 37: Szenario II – Endenergieeinsatz nach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien. 138
Tab. 38: Szenario III – Endenergieeinsatz mach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien. 142
Tab. 39: Szenario IV – Endenergieeinsatz nach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien. 146
Tab. 40: Einteilung des Gebäudebestands in Gebäudesektoren, Gebäudekategorien und Nutzungsarten. 151
Tab. 41: Datenbasis Wohngebäude. 152
Tab. 42: Datenbasis Nicht-Wohngebäude. 152

Tab. 43: Datenbasis EFH, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme. 153
Tab. 44: Datenbasis EFH, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf. 154
Tab. 45: Datenbasis EFH, spezifischer Warmwasserenergiebedarf. 154
Tab. 46: Jahresnutzungsgrade für Raumwärme im Bestand (Wohn- und Nichtwohngebäude) in Abhängigkeit ....
vom verwendeten Energieträger. 156
Tab. 47: Wirkungsgrad von Warmwasserspeicher und Warmwasserverteilung in Abhängigkeit der Gebäude- ....
kategorie. 156
Tab. 48: Jahresnutzungsgrade für den Wärmeerzeuger zur Warmwasserbereitung im Bestand in Abhängig- ....
keit vom verwendeten Energieträger. 157
Tab. 49: Raumwärme-Energieträgerverteilung mit Energiebezug, Wohngebäude. 158
Tab. 50: Warmwasser-Energieträgerverteilung mit Energiebezug, Wohngebäude. 158
Tab. 51: Raumwärme -Energieträgerverteilung mit Energiebezug Nicht-Wohngebäude. 159
Tab. 52: Warmwasser -Energieträgerverteilung mit Energiebezug Nicht-Wohngebäude. 159
Tab. 53: Jährliche im Vergleich zum Vorjahr auftretende Flächenveränderung im Wohngebäude-Bereich (wird ....
auf konditionierte Brutto-Grundfläche bezogen). 161
Tab. 54: Jährliche im Vergleich zum Vorjahr auftretende Flächenveränderung für Nichtwohngebäude (wird auf kondi- ....
tionierte Brutto-Grundfläche bezogen). 161
Tab. 55: Abrissrate in Abhängigkeit der Bauperiode und des betrachteten Zeitraums. 163
Tab. 56: Angesetzte Neubauqualität in Abhängigkeit der Gebäudekategorie. 165
Tab. 57: Angenommener zukünftiger Warmwasserwärmebedarf (Nutzenergie). 165
Tab. 58: Angenommene jährliche Effizienzverbesserung Strom exkl. Wärme für Wohn- und Nichtwohngebäude. 166
Tab. 59: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme. 166
Tab. 60: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche) für neu errich- ....
tete EFH im Bereich Warmwasser. 169
Tab. 61: Zukünftige Jahresnutzungsgrade für den Wärmeerzeuger zur Warmwasserbereitung in Abhängigkeit ....
vom verwendeten Energieträger. 170
Tab. 62: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode, Szenario I, II und III. 172
Tab. 63: Gesamt-Austauschrate Heizsystem (inklusive äquivalenter umfassender Sanierung) nach Bauperiode. 174
Tab. 64: Angesetzte Sanierungsqualität für alle Szenarien Abhängigkeit der Gebäudekategorie. 175
Tab. 65: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Einfamilienhäuser nach einer äquivalenten umfas- ....
senden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme. 176
Tab. 66: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Einfamilienhäuser nach einer äquivalenten umfas- ....
senden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser. 178
Tab. 67: Datenbasis EFH, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme. 186
Tab. 68: Datenbasis MFH-K, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme. 186
Tab. 69: Datenbasis MFH-G, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme. 187
Tab. 70: Datenbasis Nicht-Wohngebäude, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme. 187
Tab. 71: Datenbasis EFH, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf. 188
Tab. 72: Datenbasis MFH-K, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf. 188
Tab. 73: Datenbasis MFH-G, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf. 189
Tab. 74: Datenbasis Nicht-Wohngebäude, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf. 189
Tab. 75: Datenbasis EFH, spezifischer Warmwasserenergiebedarf. 190
Tab. 76: Datenbasis MFH-K, spezifischer Warmwasserenergiebedarf. 190
Tab. 77: Datenbasis MFH-G, spezifischer Warmwasserenergiebedarf. 191
Tab. 78: Datenbasis Nicht-Wohngebäude, spezifischer Warmwasserenergiebedarf. 191
Tab. 79: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme. 192
Tab. 80: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Mehrfamilienhäuser-Klein ....
im Bereich Raumwärme. 192

Tab. 81: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Mehrfamilienhäuser-Groß im Bereich Raumwärme. 193
Tab. 82: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) im Bereich Raumwärme. 193
Tab. 83: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche) für neu errichtete Gewerbe-Gebäude im Bereich Raumwärme. 194
Tab. 84: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche) für neu errichtete mit Weiter Nutzung (Industrie) im Bereich Raumwärme. 194
Tab. 85: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Einfamilienhäuser im Bereich Warmwasser. 195
Tab. 86: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Mehrfamilienhäuser-Klein im Bereich Warmwasser. 196
Tab. 87: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Mehrfamilienhäuser-Groß im Bereich Warmwasser. 197
Tab. 88: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Mischnutzung (Hotel) im Bereich Warmwasser. 198
Tab. 89: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gewerbe-Gebäude mit im Bereich Warmwasser. 199
Tab. 90: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Weiterer Nutzung (Industrie) im Bereich Warmwasser. 200
Tab. 91: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode. 201
Tab. 92: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-K nach Bauperiode. 201
Tab. 93: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim MFH-G nach Bauperiode. 202
Tab. 94: Äquivalente umfassende Sanierungsrate bei Mischnutzung (Hotel) nach Bauperiode. 202
Tab. 95: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim Gewerbe nach Bauperiode. 203
Tab. 96: Äquivalente umfassende Sanierungsrate für Industrie nach Bauperiode. 203
Tab. 97: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Einfamilienhäuser nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme. 204
Tab. 98: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Mehrfamilienhäuser-Klein nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme. 204
Tab. 99: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Mehrfamilienhäuser-Groß nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme. 205
Tab. 100: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme. 205
Tab. 101: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gewerbe-Gebäude nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme. 206
Tab. 102: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Weiter Nutzung (Industrie) nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Raumwärme. 206
Tab. 103: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Einfamilienhäuser nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser. 207
Tab. 104: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Mehrfamilienhäuser-Klein nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser. 208

Tab. 105: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Mehrfamilienhäuser-Groß nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser 209
Tab. 106: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser 210
Tab. 107: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gewerbe-Gebäude nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser. 211
Tab. 108: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Weiter Nutzung (Industrie) nach einer äquivalenten umfassenden Sanierung oder dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme im Bereich Warmwasser 212

15 LITERATURVERZEICHNIS

AMA (2013): Mehrfachantrag Flächen 2013. Merkblatt mit Ausfüllanleitung. 60 S.

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. 204 S.

ADTLR (2007): Thermische und betriebliche Grundwassernutzung. Leitfaden der Tiroler Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft. 34 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 (2011): Entschliessung 223/11 Wasserkraftausbau bis 2036. 1 S.

ADTLR (2012): Landwirtschaft in Tirol. 5 S.

ADTLR (2014): Kläranlagenkataster Tirol 2013. Gesamtauswertung Tirol. 16 S.

ADTLR (2014): Die Tiroler Bevölkerung. Ergebnisse der Registerzählung 2011. 154 S.

ADTLR (2014): Regierungsantrag Tiroler Energiestrategie 2020; Tirol 2050 Energieautonom. 6 S.

ADTLR (2016): Kleinräumige Bevölkerungsprognose Tirol. 66 S.

ADTLR (2016): Tariftafeln 2015. 28 S.

ADTLR (2017): Tiroler Abfallstatistik. 13 S.

ADTLR (2017): Tiroler Energiemonitoring 2016. Statusbericht zur Umsetzung der Tiroler Energiestrategie. 186 S.

ADTLR (2017): Emissionskataster nach §9 IG-L (Immissionsschutzgesetz - Luft, BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.g.F.) (abgerufen im Okt. 2017).

ADTLR (2017): Der Tourismus im Winter 2016/2017.

ADTLR (2017): Der Tourismus im Sommer 2016.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2013): Windenergie in Tirol. Entwurf. 110 S.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2013): Kläranlagenkataster Tirol 2012. Gesamtauswertung Tirol. 16 S.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2015): Solarpotenziale im Land Tirol. Technischer Bericht Tirol. 43 S.

ANDERLE, N. & ARIC, K. & STEINHAUSER, P. & AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (1978): Die Grundwasservorkommen in Tirol. Erste Ergebnisse der Erfassung des Grundwasserdargebotes. In: Wasser, Band 1. S. 1 - 66 + 1 Karte.

ARORA, S. (2018): Tirol beschließt 80 Kilometer Tabuzone für Kraftwerke am Inn. In: Der Standard, Band . S. 1.

BMLFUW (2017): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2014. 122. Band Hydrographischer Dienst in Österreich. 54 S.

BMNT (2017): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017. Teil 1. 304 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.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2014): Oberflächennahe Geothermie. 12 S.

BENZ, S. A. & BAYER, P. & BLUM, P. (2017): Global patterns of shallow groundwater temperatures. In: Environmental Research Letters, Band 12 (2017). S. 1-8.

BENZ, S. A. & BAYER, P. & WNKLER, G. & BLUM, P. (2017): Recent trends of groundwater temperatures in Austria. In: Hydrology and Earth System Sciences, Band 2017. S. 1-16.

BIOMASSEVERBAND OBERÖSTERREICH (2018): Biogas. 2 S.

CHEN, Y. & YOUNG, S. & QI, X. (2017): Estimate of Fuel Consumption and GHG Emission Impact from an Automated Mobility District.

DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (2018): Ratgeber-Reihe "Energieeffiziente Technologien für Industrie und Gewerbe" aus der Initiative Energieeffizienz (Ratgeberfür Antriebstechnik, Födertechnik, Druckluft, Kälteanlagen, Wärmeversorgung und Wärmerückgewinnung, Green-IT, Pumpensysteme, Beleuchtung.

DOBLER, C. & STREICHER, W. (2017): Endbericht Energieplan Innsbruck. Energieszenarien 2015-2050. Ausführliche Dokumentation.

EICKER, U. (2011): Solarthermische Anlagen für Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung.

ENERGIE TIROL (2017): Ja zu Solar! Die Kraft der Sonne nutzen. 6 S.

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2011): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO_2-

armen Wirtschaft bis 2050. 16 S.

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013): Kommission geht erste Schritte für Klima- und Energiepolitik bis 2030. 4 S.

FFE (2014): Faktenblatt Dampfkessel. 5 S.

FLEISCHHACKER, E. (1994): Methodischer Problemlösungsansatz für ein zukunftsorientiertes Wasserwirtschaftskonzept. In: Wasserwirtschaft, Band 84. S. 544-548.

GRABENWARTER, C. & VASEK, M. (2016): Gesetzliches Verbot von Ölheizungen. Verfassungs- und unionsrechtliche Determinanten. Rechtsgutachten. 19 S.

HERRY, M. & SEDLACEK, N. & STEINACHER, I. (2012): Verkehr in Zahlen. Österreich. Ausgabe 2011.

IIBW (2013): Wohnhaussanierung in Österreich. 24 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). S. .

JAKOB, M. & MARTIUS, G. & CATENAZZI, G. & BERLETH, H. (2014): Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich: Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen.

KALTSCHMITT, M. & STREICHER, W. (2009): Regenerative Energien in Österreich. Grundlagen, Systemtechnik, Umweltaspekte, Kostenanalysen, Potenziale, Nutzung. 656 S.

KALTSCHMITT, M. & STREICHER, W. & WIESE, A. (2013): Erneuerbare Energien, Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte.

KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H. & HOFBAUER, H. (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 1054 S.

KÄFER, A. & STEININGER, K. & AXHAUSEN, K. & BURIAN, E. ET AL. (2009): Verkehrsprognose Österreich 2025+. Endbericht. Teil/Kapitel 5: Güterverkehr Ergebnisse.

KÖLL, H. & BADER, M. (2011): Auswertung Mobilitätserhebung Tirol 2011. Wegbezogene Kenngrößen.

LEV STEIERMARK (2005): Biogas. Biogaspotentiale der Steiermark. 84 S.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER TIROL (2014): Tirols Land- und Forstwirtschaft in Zahlen. Eine Information der Landwirtschaftskammer Tirol. 19 S.

LETCHER, T. (2016): Storing Energy.

MEYER, J. & BÖSCH, P. & BECKER, H. & AXHAUSEN, K. (2016): Erreichbarkeitswirkungen autonomer Fahrzeuge.

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. & FLEISCHHACKER, E. & SCHIECHTL, F. (1993): EnergieKonzeptTirol 1993. Rahmenkonzept. 125 S.

PFEIFER, D. & KEPPLINGER, P. (2016): EneRALP Tool Softwaredokumentation - Datenintegrations- und Energiebedarfsberechnungsmodell.

PLATTER, G. & FELIPE, I. (2018): Regierungsprogramm für Tirol 2018 - 2023. Entschlossen regieren. Tirols Zukunft sichern. 80 S.

RECHNUNGSHOF ÖSTERREICH (2006): Abfallwirtschaftskonzept im Land Tirol. 21 S.

RECHNUNGSHOF ÖSTERREICH (2014): Restmüllentsorgung in Tirol. Bericht des Rechnungshofes. 54 S.

RECHNUNGSHOF ÖSTERREICH (2017): Restmüllentsorgung in Tirol; Follow-up-Überprüfung. Bericht des Rechnungshofes. 20 S.

STATCUBE (2016): Baubewilligungen, Neuerrichtung ganzer Gebäude ab 2010 (www, abgerufen am 24.07.2016).

STATCUBE (2018): Registerzählung 2011-GWZ: Gebäude (www, abgerufen im Februar 2018).

SANDOZ GMBH (2018): Nachhaltigkeitsbericht 2018 mit integrierter Umwelterklärung. 64 S.

SCHRIEFL, E. (2007): Modellierung der Entwicklung von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im österreichischen Wohngebäudebestand unter Annahme verschiedener Optimierungsziele.

SMOLINKA, T. & GÜNTHER, M. & GARCHE, J. (2011): NOW-Studie: Stand und Entwicklungspotential der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Kurzfassung des Abschlussberichts. 53 S.

STATISTIK AUSTRIA (2001): Gebäude- und Wohnungszählung, Hauptergebnisse Tirol (www, abgerufen im Dez. 2017).

STATISTIK AUSTRIA (2013): Gebäude 2011 nach überwiegender Gebäudeeigenschaft und Bezirken. 2 S.

STATISTIK AUSTRIA (2016): Statistisches Jahrbuch Österreichs. 583 S.

STATISTIK AUSTRIA (2016): Statistisches Jahrbuch Österreichs 2017.
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): Pferdebestand nach Bundesländern von 1946 bis 2003. 1 S.
STATISTIK AUSTRIA (2017): Rinderbestand nach Bundesländern von 1946 bis 2016. 1 S.
STATISTIK AUSTRIA (2017): Schafbestand nach Bundesländern von 1946 bis 2016. 1 S.
STATISTIK AUSTRIA (2017): Schweinebestand nach Bundesländern von 1946 bis 2016. 1 S.
STATISTIK AUSTRIA (2017): Ziegenbestand nach Bundesländern von 1946 bis 2016. 1 S.
STATISTIK AUSTRIA (2017): Energiestatistik: Mikrozensus Energieeinsatz der Haushalte 2015/2016.
STATISTIK AUSTRIA (2018): Anbau auf dem Ackerland 2007-2017 (Fläche in Hektar). 1 S.
STEINMÜLLER, H. & TICHLER, R. & REITER, G. & FRIEDL, C. ET AL. (2014): Endbericht - Power to Gas - eine Systemanalyse.
STERNER, M. & STADLER, I. (2014): Energiespeicher. Bedarf, Technologien, Integration.
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.
TIWAG (2014): Kraftwerkspark der TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG: Historie, Bestand & Ausblick. Energie-Enquete. Vortrag von Dipl.-Ing. Johann Herdina. Entwurf. 51 S.
TIROLER FLUGHAFENBETRIEBS-GMBH (2017): Nachhaltigkeitsbericht 2017 mit aktualisierter integrierter Umwelterklärung gemäß EMAS-III-Verordnung (Daten 2016). 47 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 Mobilitätserhebung "Österreich unterwegs 2013/14".
TRIMIS, D. & ANGER, S. (2014): Potential der thermisch integrierten Hochtemperaturelektrolyse und Methanisierung für die Energiespeicherung durch Power-to-Gas. In: gwf - Gas/Erdgas, Band . S. 51-59.
TÖPLER, J. & LEHMANN, J. (2017): Wasserstoff und Brennstoffzelle - Technologien und Marktperspektiven.
UBA (2012): Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen. Evaluierung hinsichtlich Klimaschutzrelevanz. 38 S.
UN (2015): Paris agreement. 27 S.
UMWELTBUNDESAMT (2018): Verkehrsmittel Österreich. Beschreibung. 1 S.
VBSA (2017): Abfallverwertung. Fakten & Downloads. 4 S.
WKO (2017): WKO Statistik Österreich. Wirtschaftslage und Prognose der Sachgütererzeugung.
WKO (2017): Statistisches Jahrbuch 2017. 100 S.
WESSELAK, V. & SCHABBACH, T. & LINK, T. & FISCHER, J. (2017): Handbuch Regenerative Energietechnik. 943+XV S.
WIEN ENERGIE (2012): Spittelau. Die thermische Abfallbehandlungsanlage. 24 S.
WIEN ENERGIE (2017): GeoTief Wien. 11 S.
ÖROK (2015): ÖROK-Regionalprognosen 2014 - Bevölkerung: Ausführliche Tabellen zur kleinräumigen ÖROK-Prognose 2014.
ÖWAV (2009): ÖWAV-Regelblatt 207 - Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen. 66 S.
ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (2014): ÖNORM H 5056: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden: Heiztechnik-Energiebedarf.

16 ANHANG

16.1 Sektor Mobilität

16.1.1 Systemgrenze in einem mobilitätsorientierten Ansatz

Wie in Kap. 5.1 erläutert, sind im Bereich der Mobilität der Ort des Energiebezugs (z.B. des Tankens) und der Ort des Energiebedarfs nicht identisch. In der bisherigen Energiebilanzierung (STATISTIK AUSTRIA 2017, ADTLR 2017) wird nur jene Energie berücksichtigt, die in Tirol bezogen (getankt) wird. In der 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.

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 -exporte) 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.

Abb. 31 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 grenzüberschrei-

tende Zulieferung und der Abtransport (Warenimport und –export) zu berücksichtigen sind. Eine 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 zur 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. In der Folge soll diese weitgefasste Systemabgrenzung berücksichtigt werden.

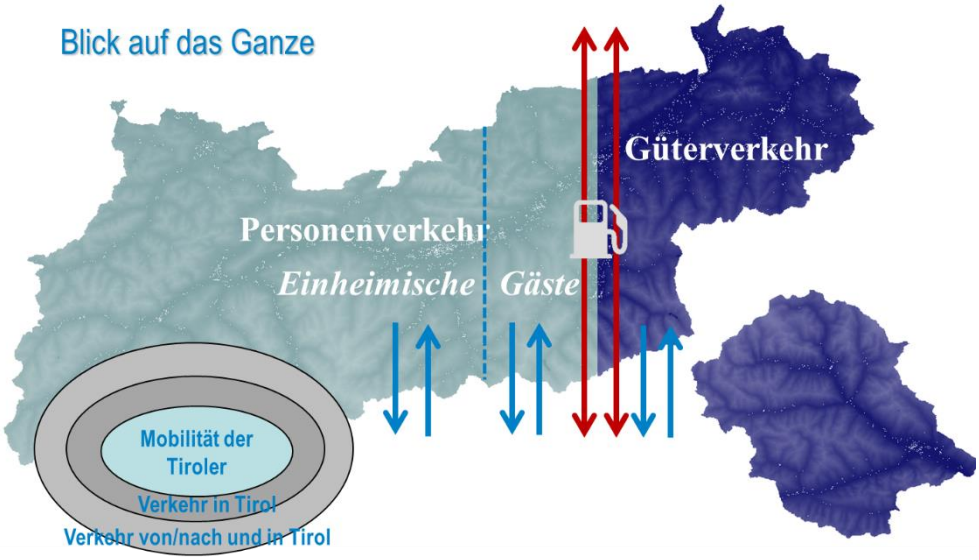


Abb. 31: Mobilitätsbezogene Betrachtung der Systemabgrenzung.

16.1.2 Bottom-Up-Ansatz

Dem in der Studie durchgeführten Top-Down-Ansatz wird in der Folge ein Bottom-Up-Ansatz gegenübergestellt. Dieser geht nicht von den bezogenen Energiemengen aus, sondern von den Mobilitäts- bzw. Transportbedürfnissen. Dadurch kann zum einen der Top-Down-Ansatz plausibilisiert werden, zum anderen können spezielle Themenfelder einbezogen bzw. beleuchtet werden (z.B. Tanktourismus, An- und Abreise im Tourismus, …) und schließlich bietet er die Möglichkeit, Maßnahmen direkt mit dem Verhalten in Verbindung zu bringen.

Für diesen Ansatz ist zunächst ein Gesamtbild der Mobilität entsprechend der oben genannten Systemabgrenzung zu erstellen. Abb. 32 zeigt dies in Verbindung mit den für die Operationalisierung dieses Ansatzes notwendigen Daten. Es werden die beiden großen Teilbereiche Personen- und Güterverkehr betrachtet. Im Personenverkehr unterscheidet man zwischen der Mobilität der Bevölkerung und jener der Gäste. Der Flughafen in Innsbruck sichert Flugverbindungen für einheimische Personen und Touristen. Im

Güterverkehr werden die beiden Hauptverkehrsträger Straße und Schiene getrennt betrachtet. Die geographische Lage von Tirol führt dazu, dass Transitfahrten eine wesentliche Rolle im Personen- und im Güterverkehr zukommt. Auf Grund der Preispolitik im internationalen Kontext ist zurzeit ein relevanter Tanktourismus gegeben, der entsprechend zu berücksichtigen ist.

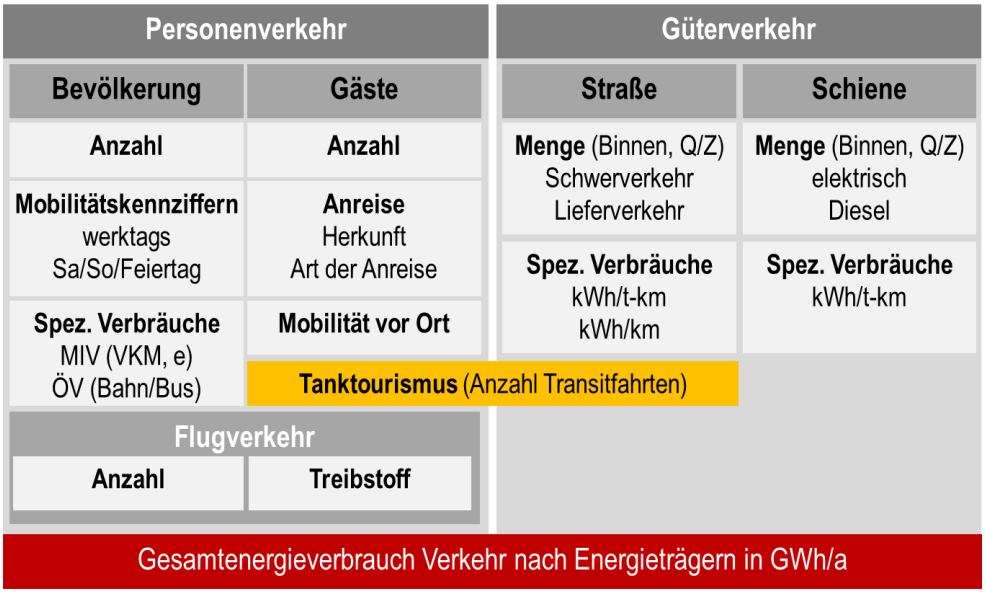


Abb. 32: Bereiche und notwendige Daten eines Bottom-Up-Ansatzes.

In der Folge werden sowohl für das Bezugsjahr 2016 als auch für das Prognosejahr 2050 für die einzelnen Bereiche Energiebedarfe ermittelt bzw. abgeschätzt. Zunächst werden die dafür herangezogenen Daten aufgelistet.

16.1.3 Datenbasis

Für die Einschätzung des Energiebedarfs der Mobilität wurden folgende Statistiken und Erhebungen verwendet:

- Untersuchungen der Mobilität der Bevölkerung: Auswertung Mobilitätserhebung Tirol 2011. Wegbezogene Kenngrößen (KÖLL et al. 2011) und Österreich unterwegs 2013/14 (TOMSCHY et al. 2016)
- Energieautarkie-Studien bezüglich spezifischer Verbrauchswerte und deren Entwicklung (STREICHER et al. 2010)
- Tiroler Energiemonitoring 2016 (ADTLR 2017)
- Tourismusbezogene Landesstatistik Tirol, Aufbereitung Tirol Werbung
- Erhebungen zur Nutzenergieanalyse der Statistik Austria für Tirol 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017)
- Statistiken zur Entwicklung des Güterverkehrs: Verkehrsprognose Österreich 2025+, Endbericht,

Teil/ Kapitel 5: Güterverkehr Ergebnisse (KÄFER et al. 2009), Verkehr in Zahlen 2011 (HERRY et al. 2012)

- Statistische Daten zur Entwicklung der Motorisierung und Fahrleistungen: Energieeinsatz der Haushalte (Mikrozensus 2015/2016) - Fahrleistungen und Treibstoffeinsatz privater Pkw. Ergebnisse für Tirol (STATISTIK AUSTRIA 2017)
- Energieverbrauchsdaten und Fahrgastzahlen von Mobilitätsanbietern: VVT, Innsbrucker Verkehrsbetriebe und Stubaitalbahn GmbH, Zillertaler Verkehrsbetriebe AG, ÖBB-Personenverkehr AG, DB Regio AG
- Nachhaltigkeitsbericht 2017 des Flughafens Innsbruck (TIROLER FLUGHAFENBETRIEBS-GMBH 2017).,
- Studien zur Wirkung vom autonomen Fahren (CHEN et al. 2017, MEYER et al. 2016)
- Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Tirol (ADTLR 2016)

Die benötigten Daten waren dabei in manchen Bereichen nicht ausreichend verfügbar, so dass Annahmen getroffen werden mussten, die sowohl mit dem Advisory-Board als auch im Stakeholder-Workshop diskutiert und bestätigt wurden.

16.1.4 Energiesystem 2016

Für die Abschätzung des **Mobilitäts-Energiebedarfs der Bevölkerung** im Jahr 2016 wurden demographische Daten – wie die Anzahl aller Personen und der Anteil von Personen im Alter von über sechs Jahren[6] sowie Mobilitätskennziffern wie Mobilitätsrate, Verkehrsmittelwahl und spezifische Verbräuche von PKW und öffentlichem Verkehr mit unterschiedlichen Antriebstechniken – miteinbezogen.
Für 2016 ergeben sich bei einer Bevölkerung älter als sechs Jahre von ca. 701.400 Personen und einer durchschnittlichen Mobilitätsrate von 4,0 Wegen pro Person insgesamt ca. 1.024 Mio. Wege im Jahr. Unter Berücksichtigung der in der letzten Mobilitätserhebung festgestellten Verkehrsmittelwahl (61 % der Wege werden im motorisierten Individualverkehr (MIV) zurückgelegt, 11 % mit dem Öffentlichen Verkehr, 21 % zu Fuß und 7 % mit dem Fahrrad), der durchschnittlichen Länge von Wegen im MIV (16,2 km), dem durchschnittlichen Besetzungsgrad (1,3 Personen pro PKW) und spezifischen Verbrauchswerten von Benzin-/Diesel-PKW in Tirol (6,52 bzw. 7,02 Liter/100km) und deren Anteil an der Fahrleistung (70 % bzw. 30 %) und einem systemabhängigen durchschnittlichen Energiebedarf pro ÖV-Fahrt wurde der **Energiebedarf der Tiroler Bevölkerung** auf ca. 17.000 TJ/a abgeschätzt.

Der Energiebedarf der **Mobilität der Gäste** hängt von der Anzahl der Anreisenden, der Art der Anreise (motorisierter Individualverkehr, Flugzeug, Bahn, Bus), dem Besetzungsgrad, der Anzahl der Ankünfte und Übernachtungen sowie von Art und Umfang der Mobilität vor Ort ab.

[6] In den Mobilitätserhebungen wie „Österreich Unterwegs“ wird in der Regel die Mobilität der Bevölkerung älter als sechs Jahre erhoben, da mit Beginn der Schulpflicht zumeist auch die eigenständige Mobilität einhergeht.

Auf Abb. 33 und Abb. 34 sind Hauptherkunftsländer dargestellt. Die meisten Gäste kommen aus Deutschland, den Niederlanden, Österreich, der Schweiz und Großbritannien (ADTLR 2017). Tab. 31 zeigt die Anzahl und Verkehrsmittelwahl der Anreise nach Herkunftsländern. Es wird deutlich, dass im Modal Split der Gäste der Motorisierte Individualverkehr (82 %) dominiert.

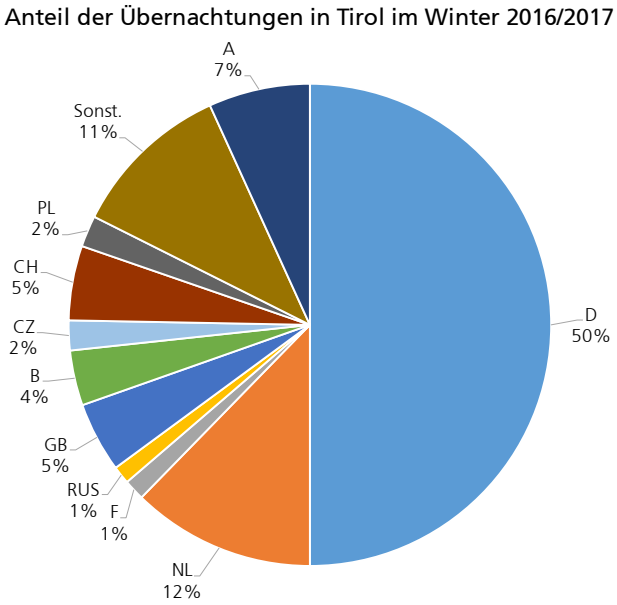


Abb. 33: Anteile der Übernachtungen nach Herkunftsländern in Tirol - Winter 2016/17.

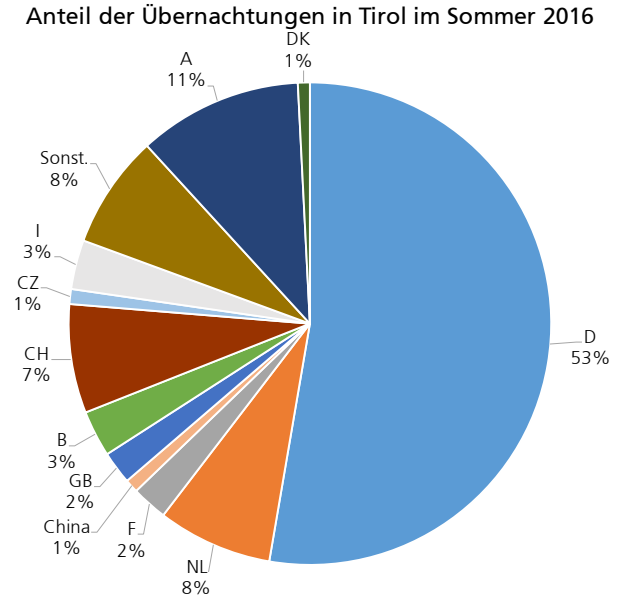


Abb. 34: Anteile der Übernachtungen nach Herkunftsländern in Tirol - Sommer 2016.

Tab. 31: Modal Split der Gäste nach Herkunftsland, Tourismusjahr 2015/16.

Herkunftsland	Auto	Motor-rad	Wohn-wagen	MIV	Bus	Bahn	Flug-zeug	Gesamt
D	4.881.219	32.575	30.330	4.944.124	338.302	250.000		10.476.550
NL	750.955		33.981	784.936	45.562	11.393		1.626.828
A	1.184.550	8.780	4.554	1.197.885	46.668	178.258		2.620.697
CH/LIE	568.294	3.003		571.297	24.234	34.970		1.201.798
GBR	55.297		1.668	56.965	44.876	15.503		174.309
B	224.204	4.380	1.379	229.963	23.695	6.602		490.224
I	264.916	3.361	3.880	272.157	7.860	47.733		599.907
F/MCO	100.375		711	101.086	18.254	6.792		227.217
CZ	148.679		2.134	150.812	16.773	5.455		323.853
PL	67.632			67.632	17.012	5.394		157.670
RUS	17.737			17.737	3.202			38.676
Tirol gesamt	**9.195.605**	**62.220**	**95.459**	**9.353.284**	**705.089**	**581.598**	**773.888**	**11.413.859**
Anteil				**82%**	**6%**	**5%**	**7%**	**100%**

Quelle: von Tirol Werbung aufbereitete Daten von Landesstatistik Tirol, eigene Bearbeitung

Um den Energiebedarf der Anreisenden abzuschätzen, wurde die mittlere Fahrdistanz ermittelt (Tab. 32). Da keine Daten zur Verfügung standen, wie viele Personen aus welchen Teilen der Herkunftsländer anreisen, wurden die Werte unter Berücksichtigung bekannter stat. Daten gemäß Tab. 32 geschätzt. Der durchschnittliche Treibstoffbedarf wurde hierbei analog zu Tirol mit 0,63 kWh/km angesetzt. Der Energiebedarf der Gäste für die Anreise mit dem PKW betrug im Jahr 2016 etwa 9.000 TJ.

Zur **Mobilität der Gäste vor Ort** lagen keine Daten vor. Daher wurde sie anhand der Annahme, dass Gäste, die mit dem eigenen PKW anreisen, durchschnittlich 10 km am Tag mit einem Besetzungsgrad von drei Personen pro PKW fahren, aus der Anzahl der Übernachtung und dem Anteil der Anreisen mit dem PKW errechnet. Bei 47.575.208 Übernachtungen und einem Anteil von 82% MIV-Anreisen ergibt sich ein Energiebedarf von etwa 300 TJ.

Für den **Tanktourismus im Personentransit** lagen ebenfalls keine statistischen Daten vor. Daher wurde der Energiebedarf mit einer geschätzten Anzahl von Transitfahrten mit Tankvorgang (ca. 300.000) und einer durchschnittlich getankten Treibstoffmenge von 20 Litern zu ca. 190 TJ ermittelt.

Der **Güterverkehr in Tirol** erfolgt im wesentlichen über die Straße und Schiene. Da keine Daten für Tirol vorlagen, wurden diese ausgehend vom Energiebedarf des Güterverkehrs in Österreich für Tirol geschätzt. Demnach benötigte der Schwerverkehr im Jahr 2016 auf der Straße ca. 2.700 TJ an Energie sowie der Güterverkehr auf der Schiene ca. 350 TJ. Der Energiebedarf für den Lieferverkehr wurde auf Grundlage der mit dem Verkehrsmodell Tirol ermittelten Fahrleistungen auf ca. 1.600 TJ abgeschätzt.

Tab. 32: Ermittlung des Energiebedarfs für die PKW-Anreise.

Land	Städte	Distanz [km]	Mittlere Distanz [km]	Gesamtverbrauch Treibstoff* [kWh]
Deutschland	Frankfurt/M.	518	442	278
	Stuttgart	322		
	München	163		
	Dortmund	763		
Anzahl Anreisen	**4.881.219**			**1.2357.686.724**
Niederlande	Amsterdam	936	889	560
	Rotterdam	920		
	Eindhoven	812		
Anzahl Anreisen	**750.955**			**420.745.175**
Österreich	Wien	476	395	249
	Linz	313		
Anzahl Anreisen	**1.184.550**			**294.402.236**
Schweiz/Liechtenstein	Zürich	292	292	184
Anzahl Anreisen	**568.294**			**104.543.361**
Vereinigtes Königreich	London	1.234	1.234	777
Anzahl Anreisen	**55.297**			**42.989.074**
Belgien	Brüssel	836	851	536
	Antwerpen	865		
Anzahl Anreisen	**224.204**			**120.131.745**
Tschechische Republik	Prag	552	552	348
Anzahl Anreisen	**148.679**			**51.704.512**
Frankreich	Straßburg	460	460	290
Anzahl Anreisen	**100.375**			**29.088.679**
Italien	Mailand	408	408	257
Anzahl Anreisen	**264.916**			**68.094.076**
Russland	Moskau	2.484	2.484	1.565
Anzahl Anreisen	**17.737**			**27.757.285**
Summe [kWh]				**2.517.142.867**
Summe [GWh]				**2.517**
Anzahl aller Anreisen	**8.196.227**			

* Mittlerer Treibstoffbedarf: 0,63 kWh/km.

Die Energiemenge des **Tanktourismus im Güterverkehr** konnte ausgehend von jährlich ca. 2 Mio. LKW-Transit-Fahrten und einer angenommenen durchschnittlichen Betankung mit 265 Litern Diesel mit ca. 19.000 TJ abgeschätzt werden.

Mit diesen Zahlen und den veröffentlichten Betriebszahlen für den Flughafen und den Betreib der alpenquerenden Ölleitung (TAL) ergibt sich für das Energiesystem 2016 das in Abb. 35 dargestellte Bild. Demnach wären in der Nutzenergieanalyse, die insgesamt rund 30.000 TJ Endenergiebedarf ausweist, etwa 7.000 TJ aus Tanktourismus enthalten. Der größere Teil des Tanktourismus (12.000 TJ) wäre ebenso wie die Anreise der Gäste mit dem PKW nicht enthalten. Dieser Wert erscheint angesichts der in der Nutzenergieanalyse angewendeten Methodik und der Veränderung bei Einführung dieser Methodik im Vergleich zu früheren Werten plausibel.

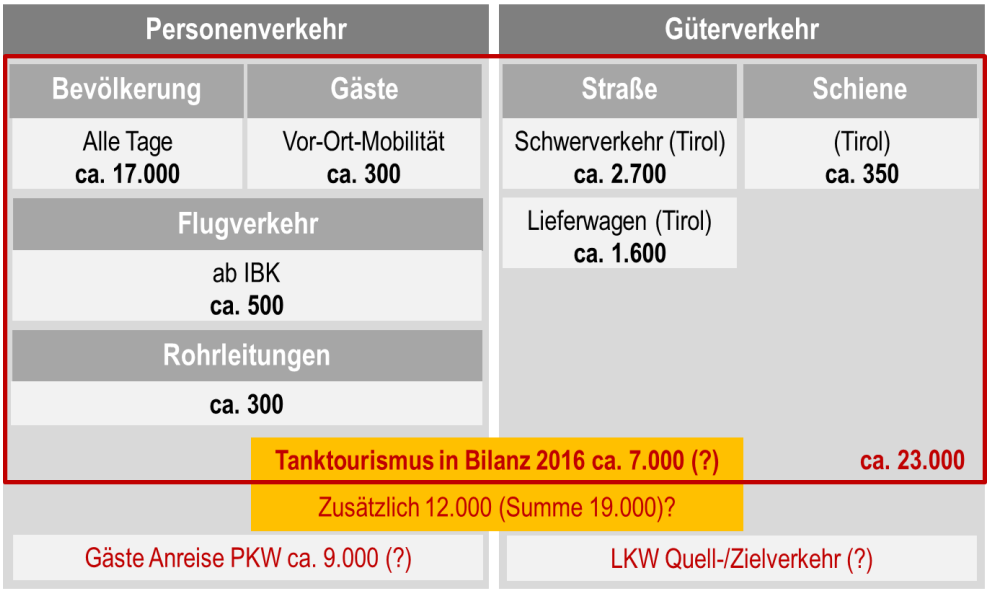


Abb. 35: Endenergiebedarf des Mobilitätssektors 2016.

16.1.5 Energiesystem 2050 – Methodik und Annahmen

Da der Bottom-Up-Ansatz für das Basisjahr 2016 im Vergleich zur Nutzenergieanalyse plausible Werte lieferte, wurde dieser Ansatz auf das Jahr 2050 übertragen. Dazu mussten in den unterschiedlichen Bereichen weitere Annahmen getroffen werden.

Die Bevölkerungswachstumsrate wurde gleich angenommen wie in der Studie „Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Tirol“. Da für die ggst. Studie keine Verhaltensänderung angenommen werden sollte, wurden unveränderte Mobilitätskennzahlen – wie Mobilitätsrate und Modal Split – angenommen. Für alle batterieelektrischen PKW wurde von einem spezifischen Verbrauch von 0,15 kWh/km ausgegangen, da erwartet werden kann, dass wie in der Vergangenheit Effizienzgewinne durch Änderungen in der Fahrzeugflotte ausgeglichen werden. 2050 wird die Zillertalbahn, die bisher mit Diesel fuhr, den Wasserstoff als Endenergieträger nutzen.

Es ist keine Tourismusentwicklungsprognose für Tirol vorhanden. Daher wurden auf Grundlage der Entwicklungstrends Annahmen getroffen. Die Entwicklung der Anzahl der Ankünfte und Übernachtungen und die Dynamik der Aufenthaltsdauer in Tirol sind auf Abb. 36, Abb. 37 und Abb. 38 angezeigt (Amt der Tiroler Landesregierung, Sachgebiet Landesstatistik und tiris, Landesstatistik Tirol, 2017). Laut Diagrammen steigt die Anzahl der Ankünfte am schnellsten, die Anzahl der Übernachtungen wächst ebenfalls, jedoch langsamer als die Ankünfte, da die durchschnittliche Aufenthaltsdauer sinkt. Diese Tendenzen deuten darauf hin, dass in der Zukunft von den Touristen mehr Mobilität zu erwarten ist und dementsprechend mehr Energiebedarf für Mobilität.

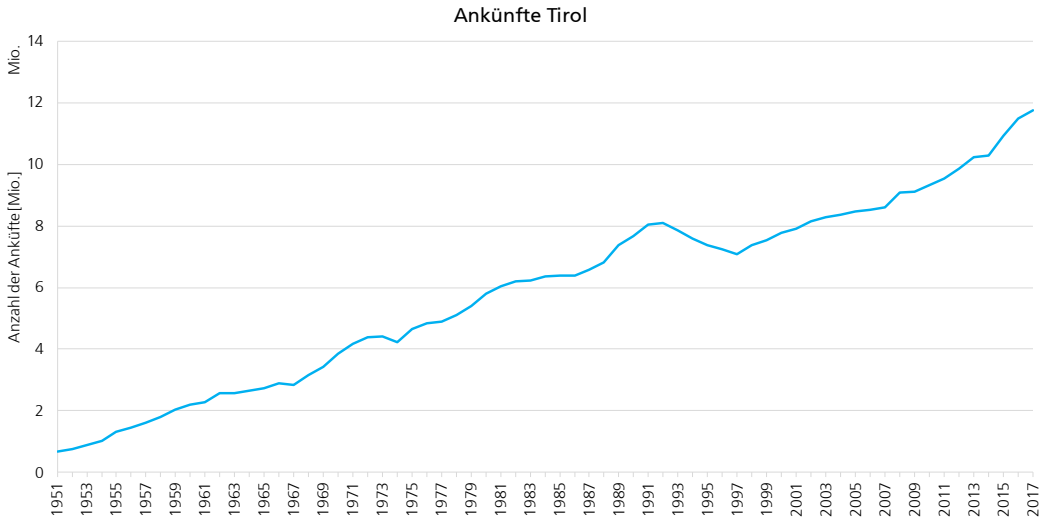


Abb. 36: Entwicklung der Ankünfte in Tirol.

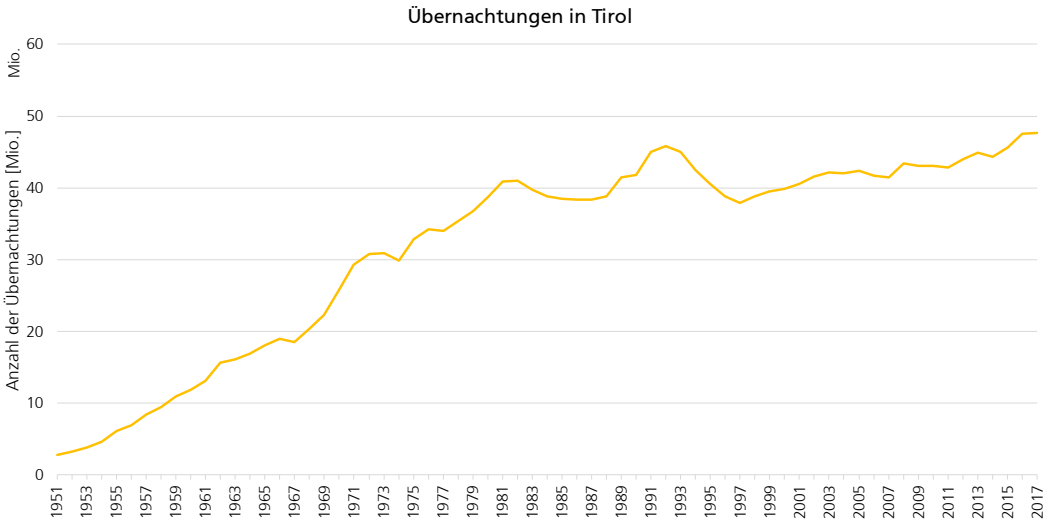


Abb. 37: Entwicklung der Übernachtungen in Tirol.

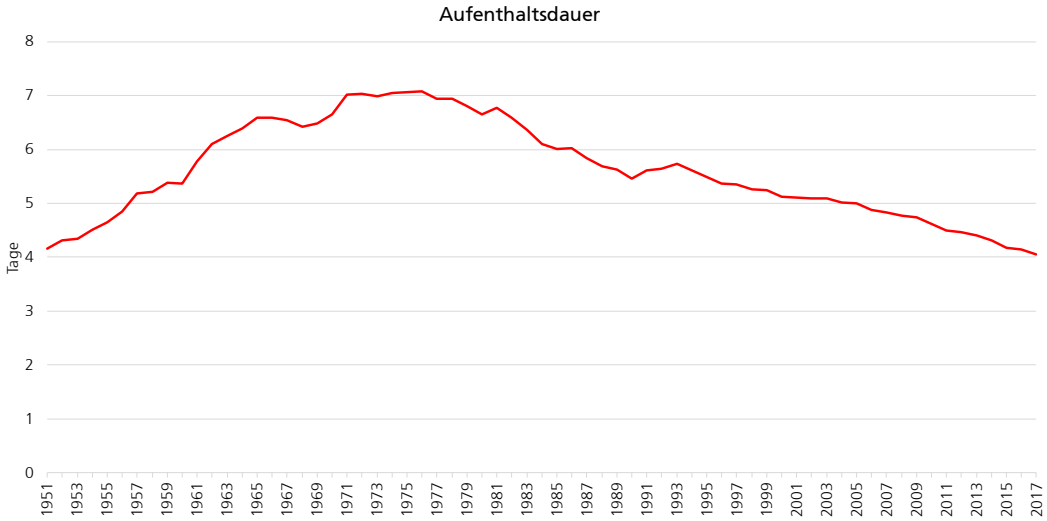


Abb. 38: Entwicklung der Aufenthaltsdauer der Gäste in Tirol.

Es wurde angenommen, dass sich die Anzahl der Betten nicht wesentlich erhöht, aber durch bessere Auslastung die Anzahl der Übernachtungen um 20 % zunimmt. Dem Trend der immer kürzeren Aufenthalte folgend wurde mit nur noch drei Übernachtungen gerechnet. Daher erhöhen sich die Anreisen der Gäste um 60 %. Der Anteil der Gästeanreisen mit MIV wurde unverändert angenommen (82 %) und deren täglich gefahrene Strecke (10 km) verändert sich ebenfalls nicht. Eine Veränderung der Herkunftsmärkte ist möglich. In Zukunft werden wahrscheinlich mehr Gäste aus fernen Ländern wie z.B. aus Asien nach Tirol mit dem Flugzeug anreisen. Da dazu keine Datengrundlagen vorliegen, wurde dies allerdings nicht berücksichtigt.

Für den Güterverkehr wurde eine Wachstumsrate angenommen, die der im Projekt festgelegten Wirtschaftswachstumsrate von 1,5 % jährlich entspricht. Der technologische Fortschritt verringert den Energiebedarf um 10 % pro zehn Jahre. Der Lieferwagenverkehr entwickelt sich gleich wie der Straßengüterverkehr.
Der Güterverkehr auf der Schiene erhöht sich um 75 %. Im Jahr 2016 wurden 12,7 Mio. t. auf der Schiene transportiert. Durch die zusätzliche Kapazität des Brenner-Basistunnels ist diese Erhöhung des Schienengüterverkehrs möglich. Gleichzeitig verringert sich der LKW-Transit-Verkehr – den aktuellen politischen Zielsetzungen entsprechend – auf eine 1 Mio. LKW, die jährlich den Brenner queren.

Der Flughafen Innsbruck ist ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Daher wird er im Jahr 2050 in der jetzigen Form erhalten bleiben und der Flugverkehr bleibt auf vergleichbarem Niveau. Jedoch werden die Flugzeuge mit Biofuels betrieben, die in Tirol nicht produziert werden können, und aus diesem Grund importiert werden müssen.

Bezüglich des Personentransitverkehrs wurde angenommen, dass dieser mengenmäßig gleichbleibt. Er wird allerdings mit Elektroautos stattfinden. Die Entwicklung des Tanktourismus ist auch davon abhängig, ob es weiter einen Preisvorteil beim Tanken in Österreich im Vergleich zu Deutschland und Italien gibt. Davon wird allerdings nicht ausgegangen. Ohne einen Preisvorteil werden ca. 1 Mio. LKW jeweils 300 kWh und 2 Mio. PKW durchschnittlich 50 kWh Strom tanken. In den Szenarien Wasserstoff und Methan wird ebenfalls davon ausgegangen, dass durchfahrende Fahrzeuge zwar ebenfalls tanken, aber nicht mehr im bisherigen Ausmaß Tanktourismus betreiben.

Der derzeitige Stand der Technik weist auf die mögliche Entwicklung der Mobilität in 2050 hin. Der Personenverkehr kann komplett auf elektrischen Antrieb umgestellt werden. Das gleiche gilt für den Lieferwagenverkehr, da die Lieferwagen in der Regel keine großen Distanzen fahren und öfters Pausen machen. Der Schwergüterverkehr kann auch mit Strom fahren – z.B., wenn die Autobahnen mit Oberleitungen ausgerüstet werden oder wenn die LKW mit Batterien, die große Ladevolumen besitzen, ausgestattet werden. Die Nutzung von Brennstoffzellen ermöglicht, größere Reichweiten zu erzielen. Daher werden diese für den Schwerverkehr – genauso wie für Busse, die in der Region fahren und größere Höhenunterschiede überwinden müssen – in Betracht gezogen. Die Erzeugung von Wasserstoff für die Brennstoffzellen benötigt Strom, was einen zusätzlichen Energiebedarf in der Sekundärebene verursacht.

Eine Umstellung des Flugverkehrs auf Strom, Wasserstoff oder Methan ist nach aktuellem Stand fragwürdig. Die Literatur-Recherche zeigt, dass am wahrscheinlichsten der Einsatz von Biotreibstoffen wäre, die allerdings wegen der Knappheit von landwirtschaftlichen Flächen in Tirol nicht erzeugt werden können. Daher müssen die Biokraftstoffe importiert werden. Die Schiffe auf den Seen können mit Strom betrieben werden, da sie kleine Größen haben, nur dem Personentransport dienen und in den Häfen geladen werden können.
Der Einsatz von Methan in der Mobilität (künstlich erzeugt durch Power-to-Gas Verfahren) ist weniger effizient, da die Wirkungsgrade bei der Nutzung von Methan gering sind. Auch im Methan-Szenario ist er daher vor allem im Bereich Schwerverkehr und nur zum Teil im PKW-Verkehr angesetzt.

16.1.6 Ergebnis Bottom-Up 2050

Auf Grundlage dieser Annahmen ergaben sich mit dem Bottom-Up-Ansatz in den verschiedenen Szenarien Gesamtsummen, die gut zu den Zahlen der Top-Down-Berechnung passen (s. Abb. 39).

	2016	2050 Max. Strom	2050 Max. H2	2050 Max. CH4
Bevölkerung	17.000	4.600	4.800	12.100
Flugverkehr	500	500	500	500
Rohrleitungen	300	150	150	150
Güter Straße	2.700	1.500	2.000	6.000
Lieferwagen	1.600	850	850	2.150
Güter Schiene	350	1.000	1.000	1.000
Gäste vor-Ort	300	100	100	250
Summe 1	ca. 23.000	ca. 8.600	ca. 9.400	ca. 22.200
Tanktourismus St.A	ca. 7.000	1.500	1.900	5.400
Summe 2	ca. 30.000	10.200	11.300	27.600
Gäste Anreise PKW	9.000	3.500	3.500	8.800
Tanktourismus	12.000		?	?

Abb. 39: Ergebnis der Bottom-up-Analyse für die Szenarien I bis III – Endenergie [TJ].

Wie bereits erläutert, ergibt sich für das Jahr 2016 aus den Berechnungen für die Mobilität der Bevölkerung und der Gäste innerhalb Tirols, dem Flugverkehr vom Flughafen Innsbruck, dem Betrieb der Rohrleitung sowie dem Güterverkehr auf Straße (LKW und Lieferwagen) und Schiene ein Gesamtenergiebedarf von etwa 23.000 TJ/a. Für den Tanktourismus wurden zusätzlich etwa 19.000 TJ/a abgeschätzt. Berücksichtigt man davon mit 7.000 TJ etwa ein Drittel, so kommt man in die Größenordnung des von der Statistik Austria in der Energiebilanz des Landes ausgewiesenen Endenergiebedarfs im Sektor Verkehr von 30.601 TJ. Angesichts des in dieser Statistik verwendeten Berechnungsmodus für die Umlegung des Tanktourismus auf die österreichischen Bundesländer erscheint dies plausibel. Der Bottom-Up-Ansatz weist zusätzlich noch rund 9.000 TJ Energiebedarf für die PKW-Anreise im Tourismus auf. Die Übertragung des Berechnungsansatzes auf die einzelnen Szenarien liefert mit 10.200 TJ im Szenario I „Strom“ (Top-Down 10.159 TJ), mit 11.300 TJ im Szenario II „Wasserstoff“ (Top-Down 11.156 TJ) und 27.600 TJ im Szenario III „Methan“ (Top-Down 26.693 TJ) ebenfalls auf Anhieb plausible Zahlen.

Der Bottom-Up-Ansatz lässt nun Rückschlüsse zu, wie sich einzelne Maßnahmen auswirken können. Um dies zu demonstrieren, wurde beispielhaft das Einsparungspotenzial von Verhaltensänderungen in der Mobilität der Bevölkerung ermittelt und im Stakeholder-Workshop präsentiert und diskutiert (Abb. 40).

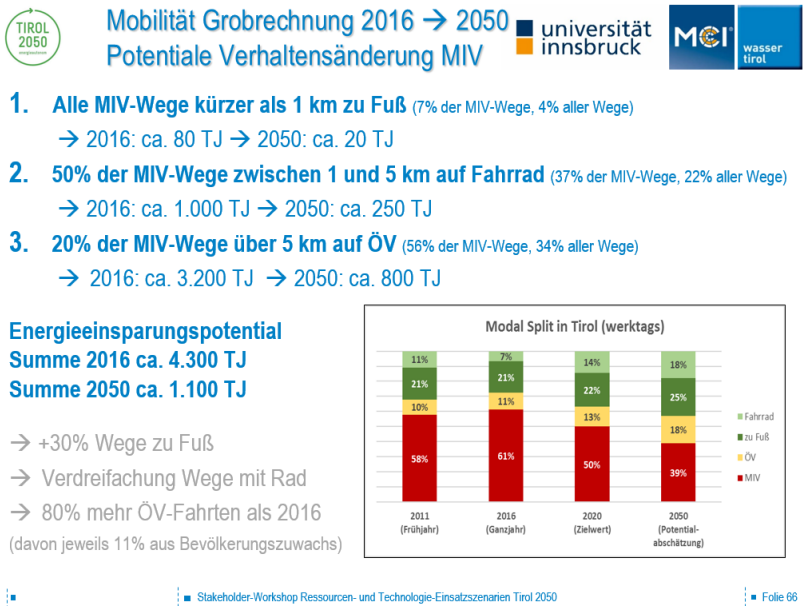


Abb. 40: Grobabschätzung des Potenzials zur Energieeinsparung durch Verhaltensänderung.

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/a einsparen, bezogen auf 2050 auf Grund der geringeren spezifischen Verbräuche der Elektromotoren nur noch etwa 20 TJ. Bei den MIV-Wegen 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 rund 1.000 TJ, im Jahr 2050 rund 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 rund 3.200 TJ und 2050 um rund 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.

Mit den Ergebnissen des Bottom-Up-Ansatzes wurden im Rahmen des Stakeholder-Workshops die Kernaussagen aus dem Sektor Mobilität folgendermaßen ergänzt bzw. formuliert:

- In der Energiebilanz sind aktuell die Anreise von Gästen nicht und der Tanktourismus nur teilweise berücksichtigt.
- Die Energieeinsparungen (Technologie) betragen 67 % (Strom-Szenario), 64 % (H2-Szenario), 13 % (CH_4-Szenario).
  - Den niedrigsten Energiebedarf bietet damit der direkte Stromverbrauch (Strom-Szenario).
  - H_2-Nutzung z.B. bei Nutzfahrzeugen verbessert das Speicherpotenzial, doch der Endenergiebedarf steigt und der Strombedarf steigt stark (Sekundärebene).
  - Biofueleinsatz im Flugverkehr belastet Strombedarf stark (Ausgleich für Herstellung).
- Ohne Verhaltensänderung ist das ursprüngliche Einsparungsziel (-71 %) nicht zu erreichen (selbst im Strom-Szenario wären -12 % Nutzenergie/Einwohner 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.
  - H_2-Tanktourismus wäre sehr problematisch.

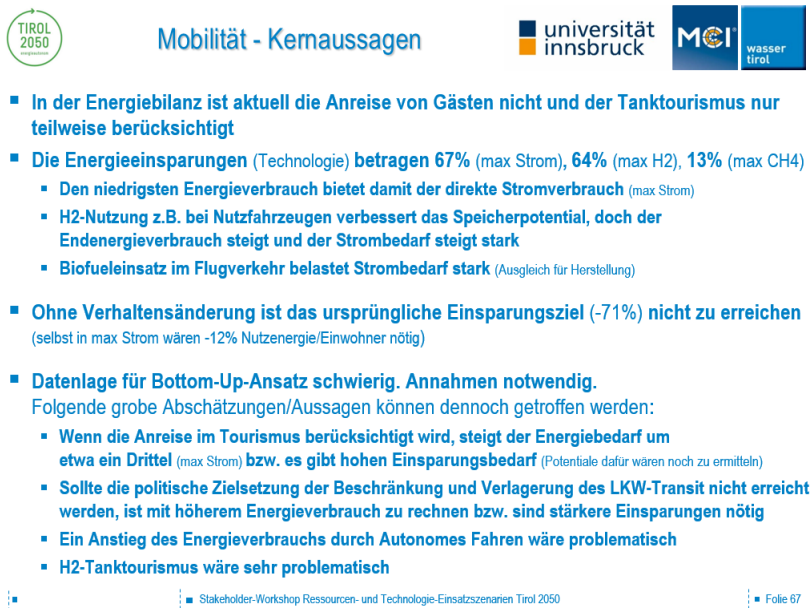


Abb. 41: Kernaussagen Sektor Mobilität.

16.2 Sektor Produktion

Tab. 33: Endenergie zu Nutzenergie in den Szenarien I und II im Vergleich zum Basisjahr 2016.

	Endenergie	Nutzenergie	Licht / Kommunikation	Kälte	Warmwasser	Heizwärme <=100°C	Wärme >100°C (Prozesswärme)	Mechanische Arbeit
Basis 2016								
Öl	**2.231**	895	0	0	1	159	292	444
Kohle	**1.550**	698	0	0	0	0	698	0
Erdgas	**6.694**	4.306	0	0	5	1.346	2.924	31
Holz	**2.693**	1.622	0	0	3	682	938	0
Fernwärme (incl. zentrale WP)	**123**	98	0	0	0	85	13	0
Strom (nicht WP)	**7.173**	4.832	359	185	1	320	911	3.056
Strom (für WP)	**5**	5	0	0	0	4	0	0
Umweltwärme (dezentrale häusl. Anlagen)	**11**	8	0	0	0	8	0	0
Solarthermie	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Biofuels (Biogas,...)	**91**	44	0	0	0	0	31	13
Synth. E-Träger (H2)	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Synth. E-Träger (CH4)	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht biogen)	**266**	146	0	0	0	0	146	0
Summe	**20.836**	12.654	359	185	10	2.603	5.953	3.545
Szenario I								
Öl	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Kohle	**1.646**	823	0	0	0	0	823	0
Erdgas	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Holz	**2.141**	1.464	0	0	0	13	1.451	0
Fernwärme (incl. zentrale WP)	**493**	444	0	0	6	423	15	0
Strom (nicht WP)	**10.025**	7.829	246	200	0	6	3.667	3.709
Strom (für WP)	**406**	402	0	0	4	291	108	0
Umweltwärme (dezentrale häusl. Anlagen)	**1.145**	1.003	0	0	8	728	267	0
Solarthermie	**6**	4	0	0	2	3	0	0
Biofuels (Biogas,...)	**973**	331	0	0	0	0	70	261
Synth. E-Träger (H2)	**1.347**	1.100	0	0	0	0	1.070	31
Synth. E-Träger (CH4)	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht biogen)	**387**	232	0	0	0	0	232	0
Summe	**18.570**	13.633	246	200	20	1.462	7.703	4.001
Szenario II								
Öl	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Kohle	**1.646**	823	0	0	0	0	823	0
Erdgas	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Holz	**2.141**	1.464	0	0	0	13	1.451	0
Fernwärme (incl. zentrale WP)	**493**	444	0	0	6	423	15	0
Strom (nicht WP)	**7.295**	5.223	246	200	0	6	1.113	3.657
Strom (für WP)	**294**	291	0	0	0	291	0	0
Umweltwärme (dezentrale häusl. Anlagen)	**828**	728	0	0	1	728	0	0
Solarthermie	**6**	4	0	0	2	3	0	0
Biofuels (Biogas,...)	**973**	331	0	0	0	0	70	261
Synth. E-Träger (H2)	**5.274**	4.092	0	0	11	0	3.998	83
Synth. E-Träger (CH4)	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht biogen)	**387**	232	0	0	0	0	232	0
Summe	**19.338**	13.633	246	200	20	1.462	7.703	4.001

Tab. 34: Endenergieeinsatz zu Nutzenergie in den Szenarien III/IIIa und IV im Vergleich zum Basisjahr 2016.

	Endenergie	Nutzenergie	Licht / Kommunikation	Kälte	Warmwasser	Heizwärme <=100°C	Wärme >100°C (Prozesswärme)	Mechanische Arbeit
Basis 2016								
Öl	**2.231**	895	0	0	1	159	292	444
Kohle	**1.550**	698	0	0	0	0	698	0
Erdgas	**6.694**	4.306	0	0	5	1.346	2.924	31
Holz	**2.693**	1.622	0	0	3	682	938	0
Fernwärme (incl. zentrale WP)	**123**	98	0	0	0	85	13	0
Strom (nicht WP)	**7.173**	4.832	359	185	1	320	911	3.056
Strom (für WP)	**5**	5	0	0	0	4	0	0
Umweltwärme (dezentrale häusl. Anlagen)	**11**	8	0	0	0	8	0	0
Solarthermie	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Biofuels (Biogas,...)	**91**	44	0	0	0	0	31	13
Synth. E-Träger (H2)	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Synth. E-Träger (CH4)	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht biogen)	**266**	146	0	0	0	0	146	0
Summe	**20.836**	12.654	359	185	10	2.603	5.953	3.545
Szenario III/IIIa								
Öl	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Kohle	**1.646**	823	0	0	0	0	823	0
Erdgas	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Holz	**2.141**	1.464	0	0	0	13	1.451	0
Fernwärme (incl. zentrale WP)	**493**	444	0	0	6	423	15	0
Strom (nicht WP)	**7.295**	7.829	246	200	0	6	3.667	3.709
Strom (für WP)	**76**	402	0	0	4	291	108	0
Umweltwärme (dezentrale häusl. Anlagen)	**223**	1.003	0	0	8	728	267	0
Solarthermie	**6**	4	0	0	2	3	0	0
Biofuels (Biogas,...)	**973**	331	0	0	0	0	70	261
Synth. E-Träger (H2)	**0**	1.100	0	0	0	0	1.070	31
Synth. E-Träger (CH4)	**6.482**	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht biogen)	**387**	232	0	0	0	0	232	0
Summe	**19.723**	13.633	246	200	20	1.462	7.703	4.001
Szenario IV								
Öl	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Kohle	**1.646**	823	0	0	0	0	823	0
Erdgas	**0**	0	0	0	0	0	0	0
Holz	**2.141**	1.464	0	0	0	13	1.451	0
Fernwärme (incl. zentrale WP)	**493**	444	0	0	6	423	15	0
Strom (nicht WP)	**10.025**	7.829	246	200	0	6	3.667	3.709
Strom (für WP)	**364**	402	0	0	4	291	108	0
Umweltwärme (dezentrale häusl. Anlagen)	**1.024**	1.003	0	0	8	728	267	0
Solarthermie	**6**	4	0	0	2	3	0	0
Biofuels (Biogas,...)	**973**	331	0	0	0	0	70	261
Synth. E-Träger (H2)	**0**	1.100	0	0	0	0	1.070	31
Synth. E-Träger (CH4)	**1.541**	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht biogen)	**387**	232	0	0	0	0	232	0
Summe	**18.599**	13.633	246	200	20	1.462	7.703	4.001

Tab. 35: Basisdaten 2016 – Endenergieeinsatz nach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien.

Produzierender Bereich Gesamt	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	610	0	0	0	0	0	0
Koks	0	321	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	619	0	0	0	0	0	0
Heizöl	127	218	1	5	0	0	2	0
Heizöl extra leicht	1	7	0	1	0	0	0	0
Diesel	0	0	1.003	277	0	0	0	277
Benzin	0	0	2	15	0	0	0	15
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	6	137	167	17	0	0	0	17
Erdgas	2.008	2.640	46	354	0	0	285	58
Elektrische Energie	119	1.029	5.014	75	19	26	13	14
Fernwärme	7	10	0	4	0	0	4	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	252	873	0	795	0	0	751	44
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	196	0	71	0	0	71	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	2.520	6.661	6.234	1.613	19	26	1.125	426

Eisen- und Stahlerzeugung	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	194	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgas	2	76	1	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	21	30	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	2	293	31	0	0	0	0	0

Chemie und Petrochemie	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	28	4	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgas	988	85	0	8	0	0	0	0
Elektrische Energie	5	295	1.113	1	1	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	2	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1.024	384	1.113	10	1	0	0	0

Nicht Eisen Metalle	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	127	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	0	9	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	1	0	0	0	1
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	3	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0	819	19	214	0	0	214	0
Elektrische Energie	3	137	626	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	37	0	0	0	37
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	3	1.095	645	252	0	0	214	38

Steine und Erden, Glas	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	610	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	619	0	0	0	0	0	0
Heizöl	0	139	1	2	0	0	2	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	4	0	0	0	4
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	14	1	2	0	0	0	2
Erdgas	51	969	0	60	0	0	60	0
Elektrische Energie	3	356	777	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	106	0	7	0	0	1	6
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	196	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	54	3.008	780	75	0	0	62	13

Fahrzeugbau	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0	2	0	1	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	1	12	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	0	4	12	1	0	0	0	0

Maschinenbau	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	0	18	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	1	0	0	0	1
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	60	7	2	0	0	0	2
Erdgas	0	338	13	10	0	0	1	7
Elektrische Energie	1	139	348	28	0	26	0	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1	557	369	41	0	26	1	11

Bergbau	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	5	2	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	2	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	1	14	0	0	0	14
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgas	58	6	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	10	36	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	1	0	0	0	1
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	63	20	38	15	0	0	0	15

Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	88	12	0	3	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	1	4	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	6	41	3	13	0	0	0	13
Erdgas	165	66	0	1	0	0	0	1
Elektrische Energie	17	27	300	32	18	0	9	4
Fernwärme	0	9	0	1	0	0	1	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	27	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	304	160	303	49	18	0	10	18

Papier und Druck	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	4	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgas	709	95	2	51	0	0	3	49
Elektrische Energie	55	0	280	1	0	0	0	0
Fernwärme	6	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	1	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	775	95	282	52	0	0	3	49

Holzverarbeitung	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	0	1	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	1	6	0	0	0	6
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	156	0	0	0	0	0
Erdgas	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	30	7	1.023	7	0	0	3	4
Fernwärme	0	0	0	2	0	0	2	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	222	758	0	750	0	0	750	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	71	0	0	71	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	252	766	1.179	837	0	0	827	10

Bau	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	1	21	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	1.000	250	0	0	0	250
Benzin	0	0	2	14	0	0	0	14
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	19	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0	124	1	5	0	0	3	1
Elektrische Energie	0	3	114	4	0	0	0	4
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	8	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1	174	1.117	273	0	0	3	270

Textil und Leder	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	1	6	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgas	6	4	1	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	1	4	85	1	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	7	14	86	2	0	0	0	0

Sonst. Produzierender Bereich	Dampf erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Steinkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0	0	0
Koks	0	0	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizöl	0	6	0	0	0	0	0	0
Heizöl extra leicht	0	0	0	1	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	0
Petroleum	0	0	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgas	29	54	7	5	0	0	5	0
Elektrische Energie	3	29	270	1	0	0	0	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	33	91	278	7	0	0	5	1

Tab. 36: Szenario I – Endenergieeinsatz nach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien.

Produzierender Bereich Gesamt 2050 Endenergie in TJ / a	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	1.301	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	655	291	0	0	0	291
H2 aus Erneuerbaren	0	2.064	96	246	0	0	171	75
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	1.742	1.958	5.057	75	19	26	15	14
Fernwärme	6	10	0	13	0	0	4	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	249	994	0	793	0	0	749	44
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	468	0	70	0	0	70	0
Sonstige Energieträger	265	0	0	99	0	0	83	0
Gesamt	2.356	6.797	5.808	1.625	19	26	1.123	425

Eisen- und Stahlerzeugung	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	193	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	55	1	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	2	44	28	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	2	292	29	0	0	0	0	0

Chemie und Petrochemie	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	63	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	949	321	1.036	10	1	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	2	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	951	384	1.036	10	1	0	0	0

Nicht Eisen Metalle	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	127	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	1	0	0	0	1
H2 aus Erneuerbaren	0	574	0	126	0	0	126	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	3	392	601	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	37	0	0	0	37
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	64	0	0	64	0
Gesamt	3	1.093	601	251	0	0	213	38

Steine und Erden, Glas	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	981	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	4	0	0	0	4
H2 aus Erneuerbaren	0	783	1	39	0	0	36	2
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	50	691	726	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	228	0	7	0	0	1	6
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	468	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	18	0	0	18	0
Gesamt	50	3.152	726	75	0	0	62	13

Fahrzeugbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	2	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	2	11	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	0	4	11	1	0	0	0	0

Maschinenbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	1	0	0	0	1
H2 aus Erneuerbaren	0	278	20	10	0	0	1	9
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	1	276	325	28	0	26	0	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	1	0	0	0	0
Gesamt	1	555	344	41	0	26	1	11

Bergbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	1	14	0	0	0	14
H2 aus Erneuerbaren	0	4	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	59	15	34	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	1	0	0	0	1
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	59	20	35	15	0	0	0	15

Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	75	0	13	0	0	0	13
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	257	75	282	32	18	0	9	4
Fernwärme	0	9	0	1	0	0	1	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	25	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	2	0	0	0	0
Gesamt	282	160	282	49	18	0	10	18

Papier und Druck	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	66	0	50	0	0	2	48
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	353	28	263	1	0	0	0	0
Fernwärme	5	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	1	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	265	0	0	1	0	0	1	0
Gesamt	719	95	263	52	0	0	3	49

Holzverarbeitung	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	6	0	0	0	6
H2 aus Erneuerbaren	0	0	73	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	30	8	1.026	7	0	0	3	4
Fernwärme	0	0	0	2	0	0	2	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	221	756	0	749	0	0	749	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	70	0	0	70	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	252	764	1.099	835	0	0	825	10

Bau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	654	264	0	0	0	264
H2 aus Erneuerbaren	0	114	0	4	0	0	3	1
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	1	52	387	4	0	0	0	4
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	8	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1	174	1.041	273	0	0	3	269

Textil und Leder	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	7	1	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	7	7	79	2	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	7	14	80	2	0	0	0	0

Sonst. Produzierender Bereich	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	42	0	3	0	0	3	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	30	47	259	4	0	0	3	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	30	90	259	7	0	0	5	1

Tab. 37: Szenario II – Endenergieeinsatz nach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien.

Produzierender Bereich Gesamt 2050 TECHNOLOGIEÄNDERUNG	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	1.547	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	936	291	0	0	0	291
H2 aus Erneuerbaren	1.989	2.996	200	362	0	0	287	75
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	112	1.026	4.672	75	19	26	13	14
Fernwärme	6	10	0	4	0	0	4	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	249	872	0	793	0	0	749	44
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	346	0	70	0	0	70	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	2.356	6.797	5.808	1.625	19	26	1.123	425

Eisen- und Stahlerzeugung	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	193	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	2	78	1	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	21	28	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	2	292	29	0	0	0	0	0

Chemie und Petrochemie	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	944	89	0	8	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	5	294	1.036	1	1	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	2	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	951	384	1.036	10	1	0	0	0

Nicht Eisen Metalle	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	127	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	1	0	0	0	1
H2 aus Erneuerbaren	0	829	17	213	0	0	213	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	3	137	583	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	37	0	0	0	37
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	3	1.093	601	251	0	0	213	38

Steine und Erden, Glas	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	1.226	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	4	0	0	0	4
H2 aus Erneuerbaren	47	1.119	2	64	0	0	61	2
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	3	355	724	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	105	0	7	0	0	1	6
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	346	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	50	3.152	726	75	0	0	62	13

Fahrzeugbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	3	0	1	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	1	11	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	0	4	11	1	0	0	0	0

Maschinenbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	1	0	0	0	1
H2 aus Erneuerbaren	0	415	19	12	0	0	1	9
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	1	139	325	28	0	26	0	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1	555	344	41	0	26	1	11

Bergbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	1	14	0	0	0	14
H2 aus Erneuerbaren	59	10	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	10	34	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	1	0	0	0	1
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	59	20	35	15	0	0	0	15

Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	241	123	3	16	0	0	0	13
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	16	27	280	32	18	0	9	4
Fernwärme	0	9	0	1	0	0	1	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	25	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	282	160	282	49	18	0	10	18

Papier und Druck	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	662	94	2	51	0	0	3	48
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	51	0	261	1	0	0	0	0
Fernwärme	5	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	1	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	719	95	263	52	0	0	3	49

Holzverarbeitung	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	6	0	0	0	6
H2 aus Erneuerbaren	0	1	146	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	30	7	953	7	0	0	3	4
Fernwärme	0	0	0	2	0	0	2	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	221	756	0	749	0	0	749	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	70	0	0	70	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	252	764	1.099	835	0	0	825	10

Bau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	934	264	0	0	0	264
H2 aus Erneuerbaren	1	163	1	5	0	0	3	1
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	3	106	4	0	0	0	4
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	8	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1	174	1.041	273	0	0	3	269

Textil und Leder	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	6	10	1	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	1	4	79	1	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	7	14	80	2	0	0	0	0

Sonst. Produzierender Bereich	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	27	61	7	6	0	0	5	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	3	29	252	1	0	0	0	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	30	90	259	7	0	0	5	1

Tab. 38: Szenario III – Endenergieeinsatz mach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien.

Produzierender Bereich Gesamt 2050 TECHNOLOGIEÄNDERUNG	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	1.547	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	936	291	0	0	0	291
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	1.989	2.996	200	362	0	0	287	75
Elektrische Energie	112	1.026	4.672	75	19	26	13	14
Fernwärme	6	10	0	4	0	0	4	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	249	872	0	793	0	0	749	44
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	346	0	70	0	0	70	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	2.356	6.797	5.808	1.625	19	26	1.123	425

Eisen- und Stahlerzeugung	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	193	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	2	78	1	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	21	28	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	2	292	29	0	0	0	0	0

Chemie und Petrochemie	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	944	89	0	8	0	0	0	0
Elektrische Energie	5	294	1.036	1	1	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	2	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	951	384	1.036	10	1	0	0	0

Nicht Eisen Metalle	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	127	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	1	0	0	0	1
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	829	17	213	0	0	213	0
Elektrische Energie	3	137	583	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	37	0	0	0	37
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	3	1.093	601	251	0	0	213	38

Steine und Erden, Glas	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	1.226	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	4	0	0	0	4
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	47	1.119	2	64	0	0	61	2
Elektrische Energie	3	355	724	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	105	0	7	0	0	1	6
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	346	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	50	3.152	726	75	0	0	62	13

Fahrzeugbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	3	0	1	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	1	11	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	0	4	11	1	0	0	0	0

Maschinenbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	1	0	0	0	1
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	415	19	12	0	0	1	9
Elektrische Energie	1	139	325	28	0	26	0	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1	555	344	41	0	26	1	11

Bergbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	1	14	0	0	0	14
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	59	10	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	10	34	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	1	0	0	0	1
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	59	20	35	15	0	0	0	15

Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	241	123	3	16	0	0	0	13
Elektrische Energie	16	27	280	32	18	0	9	4
Fernwärme	0	9	0	1	0	0	1	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	25	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	282	160	282	49	18	0	10	18

Papier und Druck	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	662	94	2	51	0	0	3	48
Elektrische Energie	51	0	261	1	0	0	0	0
Fernwärme	5	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	1	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	719	95	263	52	0	0	3	49

Holzverarbeitung	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	6	0	0	0	6
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	1	146	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	30	7	953	7	0	0	3	4
Fernwärme	0	0	0	2	0	0	2	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	221	756	0	749	0	0	749	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	70	0	0	70	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	252	764	1.099	835	0	0	825	10

Bau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	934	264	0	0	0	264
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	1	163	1	5	0	0	3	1
Elektrische Energie	0	3	106	4	0	0	0	4
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	8	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1	174	1.041	273	0	0	3	269

Textil und Leder	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	6	10	1	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	1	4	79	1	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	7	14	80	2	0	0	0	0

Sonst. Produzierender Bereich	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	27	61	7	6	0	0	5	0
Elektrische Energie	3	29	252	1	0	0	0	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	30	90	259	7	0	0	5	1

Tab. 39: Szenario IV – Endenergieeinsatz nach Energieträger und Nutzungskategorie in den ÖNACE-Kategorien.

Produzierender Bereich Gesamt 2050 Endenergie in TJ / a	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	1.301	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	655	291	0	0	0	291
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	2.064	96	246	0	0	171	75
Elektrische Energie	1.742	1.958	5.057	75	19	26	15	14
Fernwärme	6	10	0	13	0	0	4	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	249	994	0	793	0	0	749	44
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	468	0	70	0	0	70	0
Sonstige Energieträger	265	0	0	99	0	0	83	0
Gesamt	2.356	6.797	5.808	1.625	19	26	1.123	425

Eisen- und Stahlerzeugung	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	193	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	1	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	55	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	2	44	28	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	2	292	29	0	0	0	0	0

Chemie und Petrochemie	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	63	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	949	321	1.036	10	1	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	2	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	951	384	1.036	10	1	0	0	0

Nicht Eisen Metalle	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	127	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	1	0	0	0	1
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	574	0	126	0	0	126	0
Elektrische Energie	3	392	601	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	37	0	0	0	37
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	64	0	0	64	0
Gesamt	3	1.093	601	251	0	0	213	38

Steine und Erden, Glas	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	981	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	4	0	0	0	4
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	783	1	39	0	0	36	2
Elektrische Energie	50	691	726	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	226	0	7	0	0	1	6
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	468	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	18	0	0	18	0
Gesamt	50	3.152	726	75	0	0	62	13

Fahrzeugbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	2	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	0	2	11	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	0	4	11	1	0	0	0	0

Maschinenbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	1	0	0	0	1
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	278	20	10	0	0	1	9
Elektrische Energie	1	276	325	28	0	26	0	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	1	0	0	0	0
Gesamt	1	555	344	41	0	26	1	11

Bergbau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	1	14	0	0	0	14
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	4	0	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	59	15	34	0	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	1	0	0	0	1
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	59	20	35	15	0	0	0	15

Nahrungs- und Genußmittel, Tabak	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	75	0	13	0	0	0	13
Elektrische Energie	257	75	282	32	18	0	9	4
Fernwärme	0	9	0	1	0	0	1	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	25	1	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	2	0	0	0	0
Gesamt	282	160	282	49	18	0	10	18

Papier und Druck	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	66	0	50	0	0	2	48
Elektrische Energie	353	28	263	1	0	0	0	0
Fernwärme	5	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	1	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	265	0	0	1	0	0	1	0
Gesamt	719	95	263	52	0	0	3	49

Holzverarbeitung	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	6	0	0	0	6
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	0	73	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	30	8	1.026	7	0	0	3	4
Fernwärme	0	0	0	2	0	0	2	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	221	756	0	749	0	0	749	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	70	0	0	70	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	252	764	1.099	835	0	0	825	10

Bau	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	654	264	0	0	0	264
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	114	0	4	0	0	3	1
Elektrische Energie	1	52	387	4	0	0	0	4
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	8	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1	174	1.041	273	0	0	3	269

Textil und Leder	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	7	1	0	0	0	0	0
Elektrische Energie	7	7	79	2	0	0	0	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	7	14	80	2	0	0	0	0

Sonst. Produzierender Bereich	Dampf-erzeugung	Industrie-öfen	Stand-motoren	Sonstiges	davon Kühlung	davon Elektro-chemie	davon Trocknung	davon weitere Zwecke
Biokohle (Holz,HTC)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel (zusätzlich zu biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 aus Erneuerbaren	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4 aus Erneuerbaren	0	42	0	3	0	0	3	0
Elektrische Energie	30	47	259	4	0	0	3	1
Fernwärme	0	1	0	0	0	0	0	0
Scheitholz	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogene Brenn- und Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Brennbare Abfälle (nicht Biogen)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Energieträger	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	30	90	259	7	0	0	5	1

16.3 Sektor Sonstiges

16.3.1 Basisdaten

Als Datenbasis zu den vorhandenen Wohngebäuden in Tirol dient die Gebäude- und Wohnungszählung (GWZ) 2011 (STATCUBE 2018). Bei den Nicht-Wohngebäuden werden zusätzlich Daten aus der Landesstatistik Tirol (Paket RZ2011) herangezogen. Eine weitere Datengrundlage stellt der Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017) dar. Im Folgenden werden die verwendeten Daten kurz beschrieben.

Für die Bilanzierung des Bereichs Sonstige werden gemäß Statistik Austria folgende Zuordnungen nach NEA 2016 bzw. Aufteilungen in der Beschreibung und Bilanzierung getroffen:

- Private Haushalte: Der Energiebedarf wird wie folgt ermittelt
  - Heizwärme (Raumheizung und Klimaanlagen, NEA 2016),
  - Warmwasser (Industrieöfen und Standmotoren, NEA 2016)
  - Haushaltsstrom (EDV und Beleuchtung, NEA 2016)
- Öffentliche und private Dienstleister und Landwirtschaft
  - Heizwärme und Warmwasser wurden aus Raumheizung und Klimaanlagen (NEA 2016) entsprechend 87,5 % für die Raumheizung und 12,5 % für Warmwasser aufgeteilt.
  - Als zusätzliche Detaillierung wurden aus Daten der Statistik Austria Hotels und ähnliche Gebäude noch separat ausgewiesen, da diese einen signifikanten Anteil in Tirol darstellen.
- Industrielle Gebäude werden an den Sektor Produktion weitergegeben.
- Aus dem Sektor Mobilität wird der Energiebedarf für die Traktion der Landwirtschaft übernommen.
- Der Prozessenergiebedarf der Öffentlichen und Privaten Dienstleistungen und der Landwirtschaft (Dampferzeugung, Industrieöfen, Standmotoren, elektrochemische Zwecke) wird aus dem Sektor Produktion übernommen.

Die Berechnungen zur Ermittlung des Nutz- und Endenergiebedarfes erfolgen analog zu den Berechnungen aus dem Innsbrucker Energieplan (IEP) (DOBLER et al. 2017). Dadurch erfolgt die Beschreibung der getätigten Annahmen großteils anhand der Dokumentation des IEP. In Bereichen, in denen sich Änderungen zu den im IEP verwendeten Daten ergeben, werden diese aufgezeigt.

Zur besseren Übersichtlichkeit werden im Text beispielhaft nur die Tabellen für das Einfamilienhaus abgebildet. Im Tabellenanhang sind alle Gebäudekategorien abgebildet.

16.3.2 Beschreibung des Bestandes (inkl. Industrie und Landwirtschaft)

Gebäude (Wohn- und Nichtwohngebäude)

Die Unterteilung des Gebäudebestandes kann Tab. 40 entnommen werden und erfolgt anhand der Registerzählung 2011 (STATCUBE 2018) und in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017). Es ergibt sich daraus folgende Gliederung:

- **1. Ebene: Wohngebäude oder Nicht-Wohngebäude**
- **2. Ebene: Gebäudekategorie**

  Auf der Wohngebäude-Ebene werden die folgenden fünf Gebäudekategorien unterschieden:
  - Einfamilienhaus und Reihenhaus (EFH) = 1 freistehende bzw. 1 Wohneinheit
  - Mehrfamilienhaus-Klein (MFH-K) = 2-10 Wohneinheiten
  - Mehrfamilienhaus-Groß (MFH-G) = > 10 Wohneinheiten

  Auf der Nicht-Wohngebäude-Ebene werden 2 Gebäudekategorien unterschieden:
  - Mischnutzung (MN) = Gebäude mit mindestens zwei verschiedenen Nutzungsarten, darunter fallen Hotels und ähnliche Gebäude
  - Weitere Nutzung (WN) = Industrie- und Lagergebäude
  - Gewerbe (GW) = alle weiteren betrachteten Nicht-Wohngebäude wie Büro, Verkaufsstätte oder Beherbergung, Kultur, Freizeit etc.
- **3. Ebene: Gebäudeklasse**

  Die Gebäudekategorien werden zusätzlich nach Bauperioden – in Gebäudeklassen – eingeteilt. Dabei werden folgende Bauperioden unterschieden: bis 1919, 1920-1944, 1945-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010, 2011-2015, 2016-2020, 2021-2030, 2031-2040 und 2041-2050. Eine Bauperiode erfasst im Durchschnitt ca. zehn Jahre.

Tab. 40: Einteilung des Gebäudebestands in Gebäudesektoren, Gebäudekategorien und Nutzungsarten.

Gebäudesektor	Gebäudekategorie	Nutzungsart
Haushalt	Einfamilienhaus (EFH), Reihenhaus (RH)	1 freistehende Wohneinheit bzw. 1 Wohneinheit
	Mehrfamilienhaus-Klein (MFH-K)	2-10 Wohneinheiten
	Mehrfamilienhaus-Groß (MFH-G)	>10 Wohneinheiten
Gewerbe	Gewerbe (GW)	Büro, Verkaufsstätte, Beherbergung
Mischnutzung	Mischnutzung (MN)	Bürogebäude, Groß- und Einzelhandelsgebäude, Gebäude des Verkehrs- und Nachrichtenwesens, Gebäude für Kultur- und Freizeitzwecke sowie des Bildungs- und Gesundheitswesens
Industrie	Weitere Nutzung (WN)	Industrie-, Lagergebäude

Quelle: DOBLER et al. (2017), angepasst an verwendete Gebäudekategorien.

Die Anzahl der Gebäude für die jeweiligen Bauperioden sowie die Nettogrundfläche stammt aus der Registerzählung 2011 (STATCUBE 2018). Über den Faktor 0,8 wird aus der angegebenen Nettogrundfläche die Bruttogrundfläche ermittelt. Die Daten für die Wohn- und Nichtwohngebäude können Tab. 41 und Tab. 42 entnommen werden.

Tab. 41: Datenbasis Wohngebäude.

Bauperiode	EFH		MFH-K		MFH-G	
	Anzahl Gebäude	kond. Brutto-Grundfläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	kond. Brutto-Grundfläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	kond. 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

Datengrundlage: STATCUBE (2018).

Tab. 42: Datenbasis Nicht-Wohngebäude.

Bauperiode	MN		GW		WN	
	Anzahl Gebäude	kond. Brutto-Grundfläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	kond. Brutto-Grundfläche gesamt [m²]	Anzahl Gebäude	kond. 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

Datengrundlage: STATCUBE (2018).

16.3.2.1 Strombedarf

Als Grundlage für den Strombedarf werden die Daten aus dem Innsbrucker Energieplan (IEP) (DOBLER et al. 2017) herangezogen. Um die Unterschiede in den Gebäudekategorien zwischen IEP und den in der ggst. Studie verwendeten Gebäudekategorien zu berücksichtigen, wird bei der Gebäudekategorie EFH für den spez. Strombedarf der Mittelwert aus den Daten vom EFH und RH (IEP) gebildet. Selbiges gilt für das EFH-K (Mittelwert aus MFH-K und MFH-M). Da die NEA 2016 als Bilanzierungsgrundlage dient, erfolgt über einen Korrekturfaktor eine Anpassung der Daten. Es wird angenommen, dass der Strombedarf unabhängig von der Bauperiode ist, wodurch für alle Bauperioden der gleiche Wert angesetzt wird. Dieser Wert ist beispielhaft für das EFH in Tab. 43 (letzte Spalte) dargestellt. Außerdem sind in Tab. 43 die ursprünglichen Werte aus dem IEP und der sich daraus ergebende Wert – vor der Korrektur über die NEA 2016 – enthalten. Alle Gebäudekategorien sind im Tabellenanhang (Tab. 67 bis Tab. 70) dargestellt.
Der verwendete Strom exkl. Wärme beinhaltet auch einen kleinen Energieanteil zur Kühlung. Dieser wird nicht wie bei Raumwärme und Warmwasser (bzw. Wärme) herausgerechnet, da der Kühlenergiebedarf des Jahres 2015 in der IEP nicht enthalten ist. Somit werden Energieänderungen im Kühlbereich vernachlässigt (DOBLER et al. 2017).
Der Strombedarf exkl. Wärme beinhaltet zusätzlich die für den Betrieb des Heizsystems notwendige Hilfsenergie. Sie wird nicht getrennt behandelt, da keine Informationen über den Hilfsenergiebedarf zur Verfügung stehen (DOBLER et al. 2017).

Tab. 43: Datenbasis EFH, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme.

Bauperiode	Spez. Strombedarf exkl. Wärme [kWh/m²/a]			
	EFH IEP	RH IEP	EFH Tirol 2050	EFH korrigiert
Bis 1919	35,4	28,2	31,8	17,1
1920-1944	35,4	28,2	31,8	17,1
1945-1960	35,4	28,2	31,8	17,1
1961-1970	35,4	28,2	31,8	17,1
1971-1980	35,4	28,2	31,8	17,1
1981-1990	35,4	28,2	31,8	17,1
1991-2000	35,4	28,2	31,8	17,1
2001-2010	35,4	28,2	31,8	17,1
2011-2015	35,4	28,2	31,8	17,1

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (Statistik Austria, 2017).

16.3.2.2 Wärmeenergiebedarf

Die durchschnittlichen spezifischen Raumwärme- und Warmwasserenergiebedarfswerte werden vom Energieplan Innsbruck (IEP) übernommen (DOBLER et al. 2017). Aufgrund der Unterschiede in den verwendeten Gebäudekategorien zum IEP erfolgt die Berechnung des spezifischen Raumwärme- bzw. Warmwasserenergiebedarfs über den Mittelwert aus EFH und RH und für das MFH-K über den Mittelwert aus MFH-K und MFH-M. Zusätzlich werden die Werte über einen Korrekturfaktor an die Nutzenergieanalyse 2016 angepasst. Die spezifischen Raumwärme- und Warmwasserenergiebedarfswerte sind beispielhaft für das EFH in der Tab. 44 und Tab. 45, jeweils letzte Spalte, dargestellt. Weiters sind in der Tabelle die Werte aus dem IEP und die sich daraus ergebenden Werte vor der Korrektur über die NEA 2016 enthalten. Alle weiteren Gebäudekategorien sind im Tabellenanhang Tab. 71 bis Tab. 74 abgebildet.

Tab. 44: Datenbasis EFH, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Raumwärmeenergiebedarf [kWh/m²/a]			
	EFH IEP	RH IEP	EFH Tirol 2050	EFH korrigiert
Bis 1919	213,8	139,8	176,8	149,9
1920-1944	162,3	126,6	144,45	122,5
1945-1960	125,3	92,0	108,65	92,1
1961-1970	112,9	111,4	112,15	95,1
1971-1980	151,2	155,6	153,4	130,1
1981-1990	116,3	78,9	97,6	82,8
1991-2000	91,5	147,9	119,7	101,5
2001-2010	66,8	99,4	83,1	70,5
2011-2015	64,0	88,6	76,3	35,0

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 45: Datenbasis EFH, spezifischer Warmwasserenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Warmwasserenergiebedarf [kWh/m²/a]			
	EFH IEP	RH IEP	EFH Tirol 2050	EFH Korrigiert
Bis 1919	23,0	26,0	24,5	23,9
1920-1944	24,0	27,1	25,55	24,9
1945-1960	23,8	27,9	25,85	25,2
1961-1970	23,6	27,3	25,45	24,8
1971-1980	23,5	27,5	25,5	24,9
1981-1990	23,8	26,9	25,35	24,7
1991-2000	23,9	27,1	25,5	24,9
2001-2010	23,5	27,1	25,3	24,7
2011-2015	24,4	28,5	26,45	25,8

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

16.3.2.3 Jahresnutzungsgrade Bestand (Raumwärme und Warmwasser)

Der Nutzungsgrad ist eine dimensionslose Größe. Er beschreibt das Verhältnis der in einem bestimmten Zeitraum abgegebenen Nutzenergie zur insgesamt zugeführten Energie. Die zugeführte Energie kann auf Primär- oder Endenergieebene angegeben werden. Im Folgenden wird der Nutzungsgrad auf die Endenergie bezogen. Der Jahresnutzungsgrad der Heizsysteme weist eine zeitliche Entwicklung auf: Er hängt deshalb vom Installationszeitpunkt ab. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass die Heizsysteme im Bestand ein durchschnittliches Alter von ca. 15 Jahren aufweisen. Für Nicht-Wohngebäude werden die gleichen Werte wie für Wohngebäude herangezogen.

16.3.2.3.1 Raumwärme

Der Jahresnutzungsgrad im Raumwärmebereich hängt vom Typ des Wärmeerzeugers sowie dem verwendeten Energieträger ab. Er ergibt sich aus der Kombination von Speicher-, Verteilungs- und Wärmeerzeugerverlusten. Es wird angenommen, dass im Bestand hauptsächlich Zentralheizungssysteme – im Gegensatz zu Etagenheizungen und Einzelöfen – installiert sind. Außerdem wird vorausgesetzt, dass großteils Standardkessel und keine Brennwertkessel eingesetzt werden. Bei Solarthermie-Anlagen wird der Jahresnutzungsgrad im Folgenden als das Verhältnis zwischen der im Gebäude nutzbaren Raumwärme zur insgesamt in der Solarthermie-Anlage erzeugten Energie definiert. Die Differenz zwischen nutzbarer und erzeugter Raumwärme ergibt sich bei Solarthermie-Anlagen aus den Speicher- und Verteilungsverlusten im Gebäude (analog zu Tab. 47). Es wird allerdings vorausgesetzt, dass 70 % dieser insgesamt auftretenden Verluste im Gebäude genutzt werden können (PFEIFER et al. 2016). Bei Wärmepumpen wird analog vorgegangen: die insgesamt von der Wärmepumpe erzeugte Energie – Summe aus Strom und Umweltwärme – reduziert sich im Gebäude aufgrund von Speicher- und Verteilungsverlusten. Das Verhältnis zwischen der von der Wärmepumpe insgesamt erzeugten Endenergie (Strom plus Umweltwärme) zur zugeführten Endenergie (Strom) – entspricht Jahresarbeitszahl – wird mit 3 angesetzt. Als Ergebnis erhält man die in Tab. 48 dargestellten Jahresnutzungsgrade. Bei der Wärmepumpe werden nur die Speicher- und Verteilungsverluste berücksichtigt, da der Umweltwärme-Anteil bereits in der Endenergieträgerverteilung enthalten ist (vgl. Tab. 49). Für Solarthermie-Anlagen werden keine Wärmeerzeuger-Verluste angesetzt.

Tab. 46: Jahresnutzungsgrade für Raumwärme im Bestand (Wohn- und Nichtwohngebäude) in Abhängigkeit vom verwendeten Energieträger.

Energieträger	Jahresnutzungsgrad Raumwärme η_{RW} [-]				
	Bestand	2016-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Öl	0,76	0,89	0,90	0,90	0,90
Gas	0,80	0,92	0,93	0,93	0,93
Kohle	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72
Fernwärme	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92
Holz	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75
Strom	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl Endenergie)	3,0	3,18	3,26	3,36	3,46
Wärmepumpe (nur Speicher und Verteilung)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Solarthermie (nur Speicher und Verteilung)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Tirol 2050.

16.3.2.3.2 Warmwasser

Der Jahresnutzungsgrad im Warmwasserbereich wird getrennt nach Gebäudekategorien angegeben, da die Speicher- und Verteilungsverluste in Abhängigkeit der Gebäudegröße variieren. Bei größeren Gebäuden und folglich größeren Warmwasserspeichern sind die Speicherverluste geringer: Die Warmwasserspeicher weisen ein geringeres und somit besseres Oberflächen-Volumen-Verhältnis auf. Demgegenüber sind die Verteilungsverluste aufgrund der größeren Leitungslänge bei größeren Gebäuden höher. Bei der Raumheizung wird aufgrund der großen Rücknutzbarkeit der Speicher- und Verteilungsverluste keine Unterscheidung nach Gebäudekategorie vorgenommen. Es erfolgt auch keine aufgeschlüsselte, getrennte Angabe der Jahresnutzungsgrade nach den einzelnen Komponenten (Speicher, Verteilung, Wärmeerzeuger).

Der Jahresnutzungsgrad im Warmwasserbereich ergibt sich aus der Summe von Speicher-, Verteilungs- und Wärmeerzeugerverlusten. Die Wirkungsgrade des Warmwasserspeichers und der Warmwasserverteilung (Verlust = 1 - Wirkungsgrad) sind in Tab. 47 aufgelistet.

Tab. 47: Wirkungsgrad von Warmwasserspeicher und Warmwasserverteilung in Abhängigkeit der Gebäudekategorie.

Bauperiode	EFH	MFH-K	MFH-G	MN	GW	WN
Wirkungsgrad Warmwasserspeicher $\eta_{Sp,WW}$	0,78	0,84	0,90	0,90	0,90	0,90
Wirkungsgrad Warmwasserverteilung $\eta_{Vt,WW}$	0,78	0,72	0,70	0,70	0,70	0,70

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an verwendetet Gebäudekategorien.

Für den Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers wird analog zur Raumwärme davon ausgegangen, dass mehrheitlich Standardkessel und keine Brennwertkessel installiert sind. Zusätzlich muss bei Heizsystemen mit kombinierter Raumwärme- und Warmwasserwärmebereitstellung berücksichtigt werden, dass für die Warmwasserbereitung außerhalb der Heizperiode eine Degradation des Nutzungsgrades eintritt. Diese Effizienzverschlechterung außerhalb der Heizperiode ergibt sich, da der Wärmeerzeuger alleinig für die Warmwasserbereitung genutzt wird und daher bei jeder Inbetriebnahme relativ hohe Anfahrtsverluste verursacht (SCHRIEFL 2007). Die in Anlehnung an SCHRIEFL (2007) gewählten Jahresnutzungsgrade der Wärmeerzeuger im Bestand sind in Tab. 48 angegeben.

Tab. 48: Jahresnutzungsgrade für den Wärmeerzeuger zur Warmwasserbereitung im Bestand in Abhängigkeit vom verwendeten Energieträger.

Energieträger	Jahresnutzungsgrad Wärmeerzeuger Warmwasser $\eta_{We,WW}$ [-]
Öl	0,83
Gas	0,91
Kohle	0,77
Fernwärme	1,00
Holz	0,80
Strom	1,00
Solarthermie	1,00

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Bei Wärmepumpen wird das Verhältnis zwischen der insgesamt erzeugten Endenergie (Strom plus Umweltwärme) zur zugeführten Endenergie (Strom) – Jahresarbeitszahl – mit 3 angesetzt. Die Wärmepumpe ist nicht in der Tab. 48 enthalten, da der Umweltwärme-Anteil in der Endenergieträgerverteilung bereits enthalten ist.
Durch Zusammenführung von Tab. 47 und Tab. 48 ergeben sich die insgesamt im Warmwasserbereich auftretenden Jahresnutzungsgrade.

16.3.2.4 Endenergieträgerverteilung (Raumwärme und Warmwasser)

Da keine detaillierteren Informationen über die Aufteilung der Energieträger für Raumwärme und Warmwasser auf die einzelnen Gebäudetypen erhältlich waren, wird als Basis die Energieträgerverteilung (Bezug: Endenergie) aus dem Energieplan Innsbruck herangezogen, welche anhand der Daten aus der Nutzenergieanalyse für Tirol angepasst werden. Es wird dabei für alle bestehenden Gebäude einer Gebäudekategorie die gleiche Energieträgerverteilung gewählt. Die Raumwärme Energieträgerverteilung für bestehende Wohngebäude ist in Tab. 49 dargestellt. Zur Orientierung ist in der rechten Spalte die für den gesamten Wohngebäude-Bereich resultierende Energieträgerverteilung aufgelistet.

Tab. 49: Raumwärme-Energieträgerverteilung mit Energiebezug, Wohngebäude.

Energieträger	Energieträgerverteilung Raumwärme mit Energiebezug: Wohngebäude			
	EFH	MFH-K	MFH-G	Wohngeb. gesamt
Öl	37,0 %	32,5 %	33,5 %	34,1 %
Gas	3,0 %	5,5 %	7,1 %	6,3 %
Kohle	0,3 %	0,4 %	0,3 %	0,3 %
Fernwärme	1,9 %	11,5 %	32,6 %	11,8 %
Holz	46,7 %	36,4 %	14,8 %	35,3 %
Strom	6,1 %	10,2 %	7,9 %	8,0 %
WP Strom	0,9 %	0,5 %	0,4 %	0,6 %
WP Umwelt	1,7 %	0,9 %	0,7 %	1,2 %
Solarthermie	2,4 %	2,2 %	2,7 %	2,3 %

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 50: Warmwasser-Energieträgerverteilung mit Energiebezug, Wohngebäude.

Energieträger	Energieträgerverteilung Raumwärme mit Energiebezug: Wohngebäude			
	EFH	MFH-K	MFH-G	Wohngeb. gesamt
Öl	25,4 %	21,8 %	11,3 %	20,7 %
Gas	1,5 %	3,9 %	6,4 %	4,3 %
Kohle	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Fernwärme	1,5 %	3,0 %	19,7 %	5,5 %
Holz	21,9 %	8,8 %	0,3 %	11,7 %
Strom	34,2 %	49,3 %	48,9 %	45,6 %
WP Strom	1,8 %	2,3 %	1,8 %	2,0 %
WP Umwelt	3,6 %	4,5 %	3,6 %	3,9 %
Solarthermie	10,2 %	6,4 %	8,0 %	8,2 %

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Als Basis für die Nicht-Wohngebäude dient ebenfalls die Energieträgerverteilung (Bezug: Endenergie) aus dem IEP, welche anhand der Daten aus der Nutzenergieanalyse für Tirol angepasst wird. Die Raumwärme- bzw. Warmwasser Energieträgerverteilung kann Tab. 51 und Tab. 52 entnommen werden.

Tab. 51: Raumwärme -Energieträgerverteilung mit Energiebezug Nicht-Wohngebäude.

Energieträger	Energieträgerverteilung Raumwärme mit Energiebezug: Nicht-Wohngebäude		
	MN	GW	WN
Öl	9,0 %	9,0 %	7,5 %
Gas	44,9 %	44,9 %	50,5 %
Kohle	0,2 %	0,2 %	0,0 %
Fernwärme	17,6 %	17,6 %	2,8 %
Holz	14,2 %	14,2 %	29,0 %
Strom	8,2 %	8,2 %	9,8 %
WP Strom	2,0 %	2,0 %	0,1 %
WP Umwelt	4,0 %	4,0 %	0,3 %
Solarthermie	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 52: Warmwasser -Energieträgerverteilung mit Energiebezug Nicht-Wohngebäude.

Energieträger	Energieträgerverteilung Raumwärme mit Energiebezug: Nicht-Wohngebäude		
	MN	GW	WN
Öl	9,0 %	9,0 %	7,5 %
Gas	44,9 %	44,9 %	50,5 %
Kohle	0,2 %	0,2 %	0,0 %
Fernwärme	17,6 %	17,6 %	2,8 %
Holz	14,2 %	14,2 %	29,0 %
Strom	8,2 %	8,2 %	9,8 %
WP Strom	2,0 %	2,0 %	0,1 %
WP Umwelt	4,0 %	4,0 %	0,3 %
Solarthermie	0,0 %	0,0 %	0,0 %

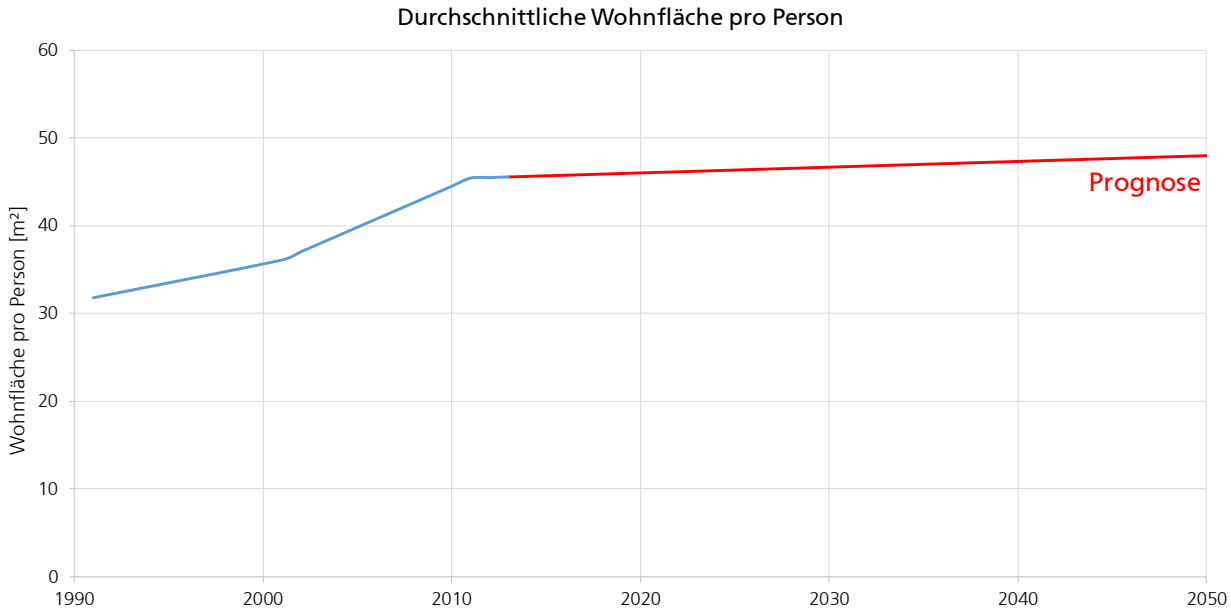
Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

16.3.3 Annahmen über zukünftige Entwicklungen

16.3.3.1 Flächenentwicklung

Im Bereich der Wohngebäude ergibt sich die zukünftige Entwicklung der Brutto-Grundfläche zum einen aus der Entwicklung der durchschnittlichen Wohnfläche pro Person in Tirol und zum anderen aus der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung.

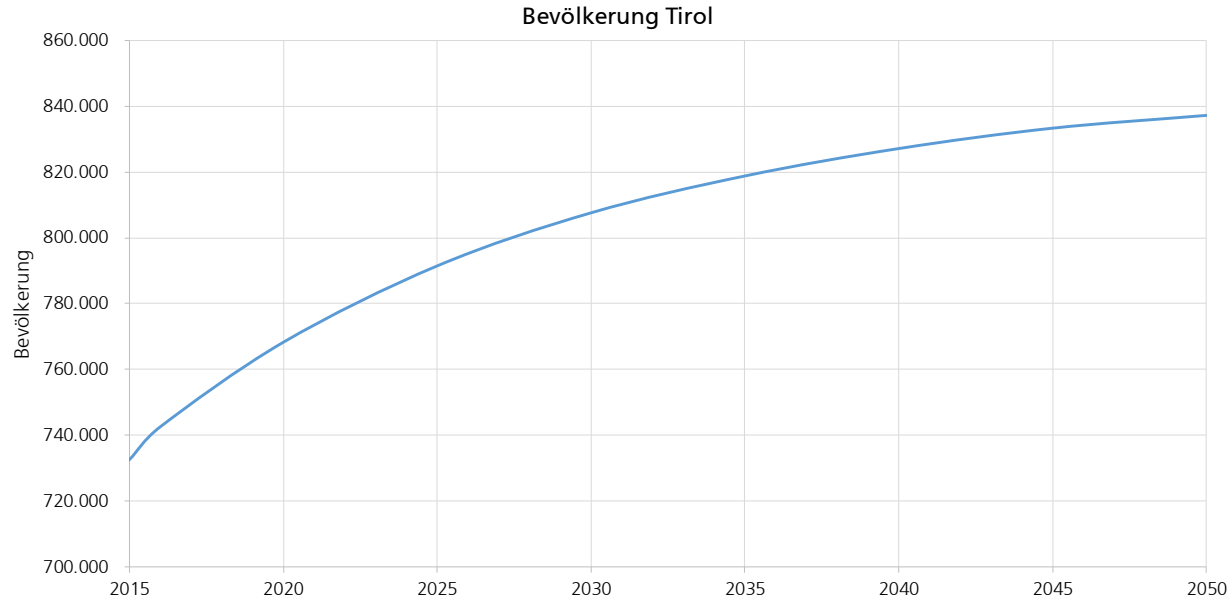
Bei den Nicht-Wohngebäuden wird angenommen, dass sich die Entwicklung der Brutto-Grundfläche nur aus der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung in Tirol ergibt. Ausgehend von einer Pro-Kopf-Wohnfläche von 45,4 m² (STATISTIK AUSTRIA 2001) wird bis zum Jahr 2050 ein linearer Anstieg auf 48,0 m² angenommen (Abb. 42).



Datengrundlage: Gebäude und Wohnungszählungen (STATISTIK AUSTRIA 2001) und eigene Annahmen.

Abb. 42: Durchschnittliche Wohnflächenentwicklung (Nutzfläche) in Tirol.

Für die zukünftige Bevölkerungsentwicklung wird eine Prognose der Statistik Austria (STATISTIK AUSTRIA 2016) herangezogen, welche in Abb. 43 dargestellt ist.



Datengrundlage: Statistisches Jahrbuch Österreichs 2017, Kapitel Bevölkerung (STATISTIK AUSTRIA 2016).

Abb. 43: angenommene zukünftige Bevölkerungsentwicklung in Tirol.

Basierend auf den getroffenen Annahmen bezüglich der Flächenentwicklung wird die jährliche, jeweils auf das Vorjahr bezogene Flächenveränderung im Wohngebäude-Bereich ermittelt (s. Tab. 53).

Tab. 53: Jährliche im Vergleich zum Vorjahr auftretende Flächenveränderung im Wohngebäude-Bereich (wird auf konditionierte Brutto-Grundfläche bezogen).

Jahr	Jährliche Flächenveränderung	Jahr	Jährliche Flächenveränderung	Jahr	Jährliche Flächenveränderung
2017	0,81%	2029	0,55%	2041	0,34%
2018	0,80%	2030	0,54%	2042	0,29%
2019	0,80%	2031	0,54%	2043	0,29%
2020	0,79%	2032	0,42%	2044	0,29%
2021	0,79%	2033	0,42%	2045	0,29%
2022	0,75%	2034	0,42%	2046	0,29%
2023	0,74%	2035	0,41%	2047	0,05%
2024	0,74%	2036	0,41%	2048	0,05%
2025	0,73%	2037	0,34%	2049	0,05%
2026	0,73%	2038	0,34%	2050	0,05%
2027	0,55%	2039	0,34%		
2028	0,55%	2040	0,34%		

Die Flächenentwicklung im Nicht-Wohngebäude-Bereich basiert nur auf der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung und kann Tab. 54 entnommen werden.

Tab. 54: Jährliche im Vergleich zum Vorjahr auftretende Flächenveränderung für Nichtwohngebäude (wird auf konditionierte Brutto-Grundfläche bezogen).

Jahr	Jährliche Flächenveränderung	Jahr	Jährliche Flächenveränderung	Jahr	Jährliche Flächenveränderung
2017	1,12%	2029	0,54%	2041	0,29%
2018	1,11%	2030	0,54%	2042	0,29%
2019	1,10%	2031	0,42%	2043	0,29%
2020	1,09%	2032	0,42%	2044	0,29%
2021	1,07%	2033	0,42%	2045	0,29%
2022	0,75%	2034	0,41%	2046	0,23%
2023	0,74%	2035	0,41%	2047	0,23%
2024	0,74%	2036	0,34%	2048	0,23%
2025	0,73%	2037	0,34%	2049	0,23%
2026	0,55%	2038	0,34%	2050	0,23%
2027	0,55%	2039	0,34%		
2028	0,55%	2040	0,34%		

Außerdem wird vorausgesetzt, dass es zu keiner Veränderung der Flächenverhältnisse der einzelnen Gebäudekategorien zueinander kommt. Dies gilt sowohl für die Wohn- als auch für die Nicht-Wohngebäude. Weiters wird vorausgesetzt, dass sich die Flächenverhältnisse der einzelnen Gebäudekategorien zueinander nicht verändern (bei Wohn- und Nicht-Wohngebäuden). Abb. 44 stellt die Entwicklung der Brutto-Grundfläche – bezogen auf die einzelnen Gebäudekategorien inkl. Industrie – dar.

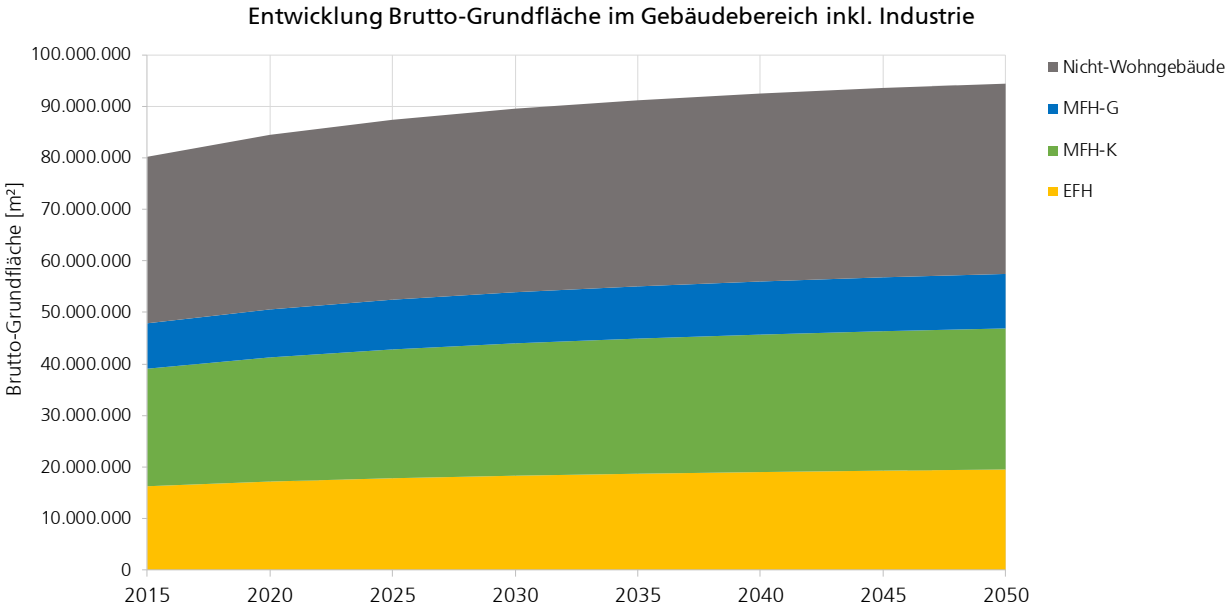


Abb. 44: Entwicklung der Brutto-Grundfläche im Gebäude-Bereich, inkl. Industrie.

16.3.3.2 Abriss

Bei einem Abriss kommt es zur Verringerung der bestehenden Brutto-Grundfläche. Die Abrissrate wird im Folgenden definiert als das Verhältnis der in einem Jahr abgerissenen Brutto-Grundfläche zur insgesamt über alle Nutzungseinheiten vorhandenen Brutto-Grundfläche (zu Beginn desselben Jahres).

Die angenommenen zukünftigen Abrissraten werden in Abhängigkeit der Bauperiode gewählt. Sie sind in Tab. 55 angegeben. Es erfolgt keine Unterscheidung nach Gebäudekategorie – Einfamilienhaus, MFH-K etc. Obwohl diese Werte eigentlich auf Wohngebäude bezogen sind, werden sie aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit auch auf Nicht-Wohngebäude übertragen. Aufgrund der hohen technischen Lebensdauer wird angenommen, dass nach dem Jahr 2000 errichtete Gebäude in der Periode 2016 bis 2050 nicht abgerissen werden. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass nur jene Bestandsgebäude abgerissen werden, die in der Periode 2016 bis 2050 noch nicht saniert wurden. Es kann nur der Zeitraum zwischen 2016 und 2050 herangezogen werden, da keine Daten über Sanierungen von Bestandsgebäuden (Zeitraum vor 2016) vorliegen. Das gleiche gilt für den Austausch von Heizsystemen. Es wird angesetzt, dass ein Abbruch nur dann durchgeführt werden darf, wenn das Heizsystem in den letzten 25 Jahren nicht erneuert wurde.

Tab. 55: 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%
2011-2015	0,00%	0,00%
2016-2020	0,00%	0,00%
2021-2030	0,00%	0,00%
2031-2040	-	0,00%
2041-2050	-	0,00%

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Unter diesen Annahmen erhält man als Resultat eine durchschnittliche jährliche Abrissrate von ca. 0,3 % über alle Bauperioden.

16.3.3.3 Neubau

Über den Neubau wird jene Brutto-Grundfläche erfasst, die in der Periode 2016 bis 2050 zusätzlich zum bestehenden Gebäudebestand hinzukommt. Dieser Flächenanteil kann über die Neubaurate beschrieben werden. Die Neubaurate wird im Folgenden als das Verhältnis der in einem Jahr neu zugefügten Brutto-Grundfläche zur insgesamt über alle Nutzungseinheiten vorhandenen Brutto-Grundfläche beschrieben (zu Beginn desselben Jahres).

Die jährlich durch Neubau hinzukommende Brutto-Grundfläche ergibt sich aus der Differenz zwischen Brutto-Grundflächen-Bedarf und Brutto-Grundflächen-Bestand. Der Brutto-Grundflächen-Bedarf ist durch die im Abschnitt 16.3.3.1 beschriebene Flächenentwicklung festgelegt. Der Brutto-Grundflächen-Bestand ergibt sich aus dem vorjährigen Brutto-Grundflächen-Bestand, korrigiert um den im betrachteten Jahr auftretenden Abriss. Weiters wird für neu erbaute Gebäude angenommen, dass die durchschnittliche konditionierte Brutto-Grundfläche pro Gebäude jener der Periode 2011 bis 2015 entspricht: Die Größenverhältnisse neuer Gebäude ändern sich nicht. Außerdem werden keine Veränderungen der Brutto-Grundfläche durch Anbau, Umbau oder Dachgeschossausbauten berücksichtigt: jeglicher Zuwachs an Brutto-Grundfläche wird dem Bereich Neubau zugewiesen.

16.3.3.3.1 Neubauqualität

Die verwendete Neubauqualität basiert auf den Werten, welche im Rahmen des IEP ermittelt wurden. Dabei wurde der maximale Referenz-Heizwärmebedarf nach Nationalem Plan bei den Wohngebäuden nicht exakt übernommen, sondern zuerst um 25 % abgemindert. Die Gründe für die Abminderung sind:

- Im Nationalen Plan wird ein Referenz-Heizwärmebedarf verwendet. Für die Definition der im Szenarien-Energiemodell verwendeten Neubauqualität wird jedoch der Heizwärmebedarf angesetzt: allfällige Erträge aus der Wärmerückgewinnung werden erfasst.
- Der Anteil an neu errichteten Gebäuden mit Wärmerückgewinnung ist zurzeit jedoch relativ gering: Laut Statistik Austria wurde im Jahr 2016 bei 8 % der neu errichteten Wohngebäude in Österreich (Bezug: Netto-Grundfläche Wohnungen) eine Wärmerückgewinnung installiert (STATCUBE 2016). Es ergibt sich deshalb nur eine kleine Differenz zwischen Heizwärmebedarf und Referenz-Heizwärmebedarf.
- Es wird angenommen, dass ein Großteil der errichteten Wohngebäude den Anforderungen der Tiroler Wohnbauförderung entspricht, welche zum momentanen Zeitpunkt deutlich strenger sind als im Nationalen Plan.

Bei den Nicht-Wohngebäuden werden die Werte exakt – ohne Abminderung – aus dem Nationalen Plan übernommen:

- Wie bei den Wohngebäuden wird die Neubauqualität im Nationalen Plan über den Referenz-Heizwärmebedarf und im Szenarien-Energiemodell über den Heizwärmebedarf beschrieben. Im Bereich der Nicht-Wohngebäude werden im Moment allerdings kaum Wärmerückgewinnungsanlagen installiert: Im Jahr 2016 wurde bei 7 % der neu errichteten Nicht-Wohngebäude in Österreich (Bezug: Netto-Grundfläche) eine Wärmerückgewinnung eingebaut (STATCUBE 2016). Deshalb unterscheiden sich der Heizwärmebedarf und der Referenz-Heizwärmebedarf nur minimal.
- Die Tiroler Wohnbauförderung ist nicht auf Nicht-Wohngebäude übertragbar.

Unter Anwendung dieser Ansätze erhält man die zukünftige Neubauqualität bis zum Jahr 2021. Weiters wird angenommen, dass ab dem Jahr 2023 nur mehr Passivhäuser (Ausnahme Gebäudekategorie Gewerbe) gebaut werden. Um die Unterschiede in den Gebäudekategorien zwischen IEP und den hier verwendeten Gebäudekategorien zu berücksichtigen wird bei der Gebäudekategorie EFH für Neubauqualität der Mittelwert aus den Daten vom EFH und RH (IEP) gebildet. Selbiges gilt für das EFH-K (Mittelwert aus MFH- K und MFH-M). Die verwendeten Werte sind Tab. 56 zu entnehmen.

Tab. 56: Angesetzte Neubauqualität in Abhängigkeit der Gebäudekategorie.

Jahr	Heizwärmebedarf Neubau [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	40	36	38	34	27	31	34	34	54	34
ab 2017	35	32	34	30	24	27	30	30	48	30
ab 2019	30	27	29	26	20	23	26	26	41	26
ab 2021	25	23	24	21	17	19	21	21	34	21
ab 2023	10	9	10	9	9	9	9	9	14	9
ab 2025	10	9	10	9	9	9	9	9	14	9
ab 2027	10	9	10	9	9	9	9	9	14	9

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an verwendete Gebäudekategorien.

16.3.3.3.2 Angenommener Warmwasserwärmebedarf beim Neubau

Es wird angenommen, dass sich der Warmwasserwärmebedarf (Nutzenergie) im Vergleich zu den bestehenden Gebäuden nicht verändert. Anhand des spezifischen Warmwasserendenergiebedarfs (siehe z.B. Tab. 45 für das EFH) wird der kalibrierte Warmwasserendenergiebedarf des Gebäudebestands je Gebäudeklasse ermittelt. Über die in der Tab. 47 und Tab. 48 angegebenen Jahresnutzungsgrade, in Verbindung mit der in der Tab. 50 und der Tab. 52 angenommenen Energieträgerverteilung, kann dieser auf Nutzenergieebene umgerechnet werden. Für den Neubau wird der über alle Bauperioden ermittelte Durchschnitt angesetzt. Die verwendeten Werte sind in der Tab. 57 angegeben.

Tab. 57: 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

16.3.3.3.3 Angenommener Strombedarf exkl. Wärme beim Neubau

Für den Strombedarf exkl. Wärme von neu errichteten Gebäuden wird der Wert des Bestandes angesetzt (vgl. z.B. Tab. 43). Es wird davon ausgegangen, dass sich der Strombedarf exkl. Wärme jährlich reduziert: alte Geräte werden ausgetauscht und durch effizientere ersetzt. Diese Annahme gilt nicht nur für neu errichtete, sondern auch für bestehende Gebäude. Die angenommenen Effizienzverbesserungen sind in Tab. 58 aufgelistet. Bis zum Jahr 2020 wird in Anlehnung an das Energieeffizienzgesetz eine Effizienzverbesserung von 0,6 % angenommen. Ab 2021 wird eine Effizienzverbesserung von 1 % angenommen. Diese Annahmen gelten sowohl im Bereich der Wohngebäude als auch bei den Nichtwohngebäuden.

Tab. 58: Angenommene jährliche Effizienzverbesserung Strom exkl. Wärme für Wohn- und Nichtwohngebäude.

Jährliche Effizienzverbesserung Strom exkl. Wärme	
2016-2020	0,6%
ab 2021	1,0%

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

16.3.3.3.4 Angenommene Energieträgerverteilung und Jahresnutzungsgrade für Raumwärme beim Neubau

Die zukünftige Energieträgerverteilung wird anhand der im IEP ermittelten Datenlage durchgeführt. Dabei werden im Neubau zwei Arten der Energieträgerverteilung definiert. Die Trend-Energieträgerverteilung orientiert sich dabei an der momentanen Entwicklung und ist in den folgenden Tabellen jeweils in der ersten Spalte dargestellt. Bei der Ziel-Energieträgerverteilung, welche ab 2021 herangezogen wird, werden keine fossilen Energieträger mehr eingesetzt. Bei den eingesetzten Energieträgern wird ab 2021 vor allem auf Umweltwärme gesetzt, da Holz und Solarthermie auch in anderen Bereichen genutzt werden können. Die Energieträgerverteilung je Wohngebäudekategorie ist beispielhaft für das Einfamilienhaus in Tab. 59 dargestellt. Alle Gebäudekategorien sind im Tabellenanhang (Tab. 79 bis Tab. 84) dargestellt.

Tab. 59: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme.

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

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Bei den Jahresnutzungsgraden wird mit einer zeitlichen Verbesserung gerechnet. Bei Öl und Gas Heizungen wird angenommen, dass nur mehr Brennwertkessel neu installiert werden. Außerdem wird davon ausgegangen, dass nur Zentralheizungssysteme – keine Etagenheizungen und Einzelöfen – eingesetzt werden. Die Jahresnutzungsgrade können Kapitel 16.3.2.3.1 entnommen werden. Bei mit Solarthermie kombinierten Systemen werden zwei verschiedene Jahresnutzungsgrade herangezogen: Für den durch Solarthermie gedeckten Nutzenergie-Teil wird der Jahresnutzungsgrad von Solarthermie übernommen. Beim restlichen Nutzenergie-Teil kommt der Jahresnutzungsgrad des ergänzenden Energieträgers zur Anwendung.

16.3.3.3.5 Angenommene Energieträgerverteilung und Jahresnutzungsgrade für Warmwasser beim Neubau

Die Energieträgerverteilung und die Jahresnutzungsgrade werden in Anlehnung an den IEP ermittelt. Es wird zwischen getrennter und kombinierter Warmwasserbereitung unterschieden. Dadurch erfolgt eine Differenzierung zwischen Warmwasserbereitung unabhängig von der Raumwärmebereitstellung und in Verbindung mit der Raumwärmebereitstellung. Bei der kombinierten Warmwasserbereitung wird unterschieden zwischen ‚Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme' und ‚Solarthermie kombiniert mit einem Heizsystem'.

Bei der ‚Kombinierten Erzeugung mit Raumwärme' wird das gesamte System sowohl für Raumwärme als auch zur Warmwasserbereitung eingesetzt. Sind hier Solarthermie-Anlagen vorhanden, dienen diese auch zur Raumheizungsunterstützung. Ist keine Solarthermie-Anlage vorhanden, wird der gesamte Warmwasserwärmebedarf durch die Raumheizung bereitgestellt.

Bei der ‚Kombination Solarthermie mit Heizsystem' wird die Solarthermie-Anlage nur zur Warmwasserbereitung eingesetzt und deckt einen Großteil der dafür notwendigen Energie. Die restliche benötigte Energie wird während der Heizperiode durch die Raumheizung und außerhalb der Heizperiode durch eine E-Patrone (elektrisch) bereitgestellt. Im Falle einer Kombination mit einer Wärmepumpe wird die gesamte Restenergie von der Wärmepumpe gedeckt.

Bei der getrennten Warmwasserbereitung werden folgende Ausprägungen unterschieden:

- Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel,
- Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme,
- Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie,
- Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe,
- Solarthermie kombiniert mit andere.

Wie im Raumwärmebereich werden auch im Warmwasserbereich zwei Arten der Energieträgerverteilungen definiert. Bei der Trend-Energieträgerverteilung orientiert sich die Entwicklung an den letzten Jahren. Zusätzlich wird bei der kombinierten Warmwasserbereitung die zugehörige Raumwärme-Energieträgerverteilung berücksichtigt. In Tab. 60 ist exemplarisch für das EFH die zukünftige Energieträgerverteilung für den Bereich Warmwasser dargestellt, wobei die erste Spalte die Trend-Energieträgerverteilung und

die zweite Spalte die Ziel-Energieträgerverteilung darstellt. Die Energieträgerverteilung aller Gebäudekategorien ist Tab. 85 bis Tab. 90 im Tabellenanhang zu entnehmen.

Es wird angenommen, dass mit einer Solarthermie-Anlage 60 % des Warmwasserwärmebedarfs (Nutzenergie) gedeckt werden kann (vgl. EICKER 2011). Dieser Wert ist gleich hoch wie im Bestand, da vorausgesetzt wird, dass sich der Warmwasserwärmebedarf (Nutzenergie) über die Zeit hinweg nicht ändert. Die verbleibenden 40 % an Restenergie müssen von einem anderen System getragen werden. In Anlehnung an SCHRIEFL (2007) wird angenommen, dass bei kombinierter Erzeugung mit Raumwärme 2,5 % der Restenergie und bei Solarthermie kombiniert mit Heizsystem 5 % der Restenergie elektrisch mittels E-Patronen bereitgestellt werden. Der verbleibende Betrag wird dem traditionellen Heizsystem zugeschrieben.
Die Jahresnutzungsgrade der Warmwasser-Bereitstellungs-Systeme werden getrennt nach Wärmeerzeuger, Speicher und Verteilung angegeben. Sie sind in Anlehnung an SCHRIEFL (2007) gewählt. Die Werte von Speicher und Verteilung ändern sich über die Zeit nicht. Sie entsprechen dem Bestand und sind in Tab. 47 (Kap. 16.3.2.3.2) angegeben. Bei den Wärmeerzeugern wird eine zeitliche Verbesserung der Jahresnutzungsgrade vorausgesetzt. Für Öl und Gas wird unterstellt, dass zukünftig nur mehr Brennwertkessel neu installiert werden. Diese Annahme entspricht der Entwicklung der letzten Jahre und hat einen Einfluss auf den gewählten Jahresnutzungsgrad. Im Resultat erhält man die in Tab. 61 angegebenen Jahresnutzungsgrade der Komponente Wärmeerzeugung. Es ist zu beachten, dass der für Öl in Kombination mit Solarthermie angegebene Jahresnutzungsgrad nur den Energieträger Öl und nicht die Solarthermie beschreibt. Bei den restlichen Ausprägungen verhält es sich analog. Der Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers wird für Solarthermie und E-Patrone mit 1 festgesetzt.
Durch Verbindung der Tab. 47 mit der Tab. 61 erhält man den zusammengesetzten Jahresnutzungsgrad für Warmwasser.

Tab. 60: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche) für neu errichtete EFH im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser 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%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Tab. 61: Zukünftige Jahresnutzungsgrade für den Wärmeerzeuger zur Warmwasserbereitung in Abhängigkeit vom verwendeten Energieträger.

Energieträger	Jahresnutzungsgrad Wärmeerzeuger Warmwasser $\eta_{We,WW}$ [-]			
	2016-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme				
Öl	0,88	0,88	0,88	0,88
Öl in Kombination mit Solarthermie	1,01	1,01	1,01	1,02
Gas	0,97	0,97	0,97	0,97
Gas in Kombination mit Solarthermie	1,04	1,05	1,05	1,05
Kohle	0,69	0,69	0,70	0,70
Fernwärme	1,00	1,00	1,00	1,00
Holz	0,73	0,74	0,74	0,75
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,89	0,89	0,89	0,90
Strom in Kombination mit Solarthermie	1,00	1,00	1,00	1,00
Wärmepumpe	3,18	3,26	3,36	3,46
Getrennte Erzeugung mittels separatem Kessel				
Gas	0,94	0,94	0,94	0,95
Getrennte Erzeugung mittels separater Fernwärme				
Fernwärme	1,00	1,00	1,00	1,00
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie				
Strom	1,00	1,00	1,00	1,00
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe				
Wärmepumpe	2,61	2,65	2,71	2,77
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem				
Öl	1,01	1,01	1,01	1,02
Gas	1,04	1,05	1,05	1,05
Kohle	0,86	0,86	0,86	0,87
Holz	0,88	0,89	0,89	0,90
Wärmepumpe	3,18	3,26	3,36	3,46
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. E-Heizstab)				
Strom	1,00	1,00	1,00	1,00

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

16.3.3.4 Sanierung

16.3.3.4.1 Sanierungsrate

Es wird angenommen, dass ca. 1 % der Gebäude in Tirol pro Jahr umfassend saniert wird. Dieser Wert stützt sich auf Untersuchungen des Lebensministeriums und des Instituts für Immobilien, Bauen und Wohnen (IIBW 2013) für Tirol. Es sind dabei nur vom Land Tirol geförderte umfassende Sanierungen im Wohngebäude-Bereich berücksichtigt (OBERHUBER et al. 2014). Aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit wird diese Sanierungsrate nicht nur für Wohngebäude, sondern auch für Nicht-Wohngebäude herangezogen.
Es sind keine Informationen bezüglich einer nach Bauperioden aufgeschlüsselten Sanierungsrate vorhanden. Aus diesem Grund wird die Sanierungsrate im Modell in Abhängigkeit des kalibrierten Raumwärmeenergiebedarfs der Gebäudeklasse gewählt: umso höher der nach Gebäudekategorie und Bauperiode aufgeschlüsselte kalibrierte Raumwärmeenergiebedarf (vgl. z.B. Tab. 44), desto größer wird die Sanierungsrate gewählt. Dadurch wird berücksichtigt, dass Gebäudeklassen, in denen in letzter Zeit viele Sanierungen durchgeführt wurden und folglich einen niedrigeren kalibrierten Raumwärmeenergiebedarf aufweisen, in nächster Zukunft mit geringerer Wahrscheinlichkeit saniert werden. Der kalibrierte Raumwärmeenergiebedarf der bestehenden Gebäude gibt einen indirekten Aufschluss über den momentanen Sanierungszustand. Insgesamt wird die umfassende Sanierungsrate im Szenarien-Energiemodell so gewählt, dass über alle Bauperioden einer Gebäudekategorie ca. eine durchschnittliche jährliche Rate von 1 % vorliegt.
Rund die Hälfte der jährlich durchgeführten thermischen Sanierungen sind umfassende Sanierungen (OBERHUBER et al. 2014). Das bedeutet, dass in jedem Jahr ca. gleich viele thermisch wirksame Teilsanierungen wie umfassende Sanierungen durchgeführt werden. Um diese thermisch wirksamen Teilsanierungen im Szenarien-Energiemodell zu erfassen, werden sie zu umfassenden Sanierungen zusammengefasst. Es wird angenommen, dass drei Teilsanierungen zu einer umfassenden Sanierung äquivalent sind. Dieses Vorgehen leitet sich aus der Definition der umfassenden Sanierung ab: eine umfassende Sanierung besteht aus mindestens drei Einzelmaßnahmen. Durch Multiplikation der je Gebäudeklasse ermittelten umfassenden Sanierungsrate mit 1,33 (gleich viele Teilsanierungen wie umfassende Sanierungen; drei Teilsanierungen entsprechen einer äquivalenten umfassenden Sanierung) ergibt sich eine äquivalente umfassende Sanierungsrate.
Die nach Bauperioden aufgeschlüsselten äquivalenten umfassenden Sanierungsraten sind beispielhaft für das EFH in Tab. 62 dargestellt. Da bei dieser Gebäudekategorie der kalibrierte Raumwärmeenergiebedarf bis 1944 und in den Siebzigerjahren am höchsten ist (Tab. 44), werden die äquivalenten umfassenden Sanierungsraten dementsprechend auch am größten gewählt. Die Werte aller weiteren Gebäudekategorien sind im Tabellenanhang aufgelistet (Tab. 91 bis Tab. 96). Die äquivalenten umfassenden Sanierungsraten unterscheiden sich bei den einzelnen Gebäudekategorien, da der qualitative Verlauf des kalibrierten Raumwärmeenergiebedarfs über die Bauperioden voneinander abweicht: beispielsweise sind Einfamilienhäuser der Bauperiode 1920 bis 1944 in einem schlechten energetischen Zustand, wohingegen Mehrfamilienhäuser-Groß der gleichen Bauperiode in einem sehr guten energetischen Zustand sind. Sie wurden seit der Errichtung mehrfach saniert.
Für alle Bauperioden nach 2015 wird die äquivalente umfassende Sanierungsrate im Zeitraum bis 2050 mit 0 % angesetzt. Diese neuen Gebäude werden nicht thermisch wirksam saniert. Das bedeutet allerdings

nicht, dass im betrachteten Zeitraum keinerlei Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt werden. Sie haben allerdings keinen Effekt auf die thermische Qualität der Gebäudehülle und werden somit im Modell nicht berücksichtigt. Als Beispiel ist der Austausch der Fenster zu nennen: Die alte Dreischeiben-Wärmeschutz-Verglasung wird durch eine neue Dreischeiben-Wärmeschutz-Verglasung ersetzt. Diese Fenster sind thermisch äquivalent.
Weiters wird angenommen, dass mit jeder äquivalenten umfassenden Sanierung auch ein Austausch des Heizsystems – Raumwärme und Warmwasser – verbunden ist.

Tab. 62: Äquivalente umfassende Sanierungsrate beim EFH nach Bauperiode, Szenario I, II und III.

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 %

Als Zusatzannahme geht ins Szenarien-Energiemodell ein, dass eine Sanierung nur dann erlaubt ist, wenn die letzte Maßnahme mindestens 25 Jahre zurück liegt. Das bedeutet, dass eine Sanierung frühestens 25 Jahre nach der Errichtung (Neubau), der letzten Sanierung oder dem letzten Austausch des Heizsystems durchgeführt werden darf. Zur Beurteilung dieses Kriteriums bezüglich der letzten Sanierung und des letzten Heizsystem-Austausches wird nur die Periode 2016 bis 2050 herangezogen. Es liegen keine Informationen zu bisherigen, vor dem Jahr 2016 durchgeführten Sanierungsmaßnahmen und Heizsystem-Austauschmaßnahmen vor. Die in der Tab. 61 grau eingefärbten Werte sind aufgrund des zeitlichen Abstands zum Errichtungsjahr (Neubau) nicht wirksam.
Außerdem wird eine Sanierung nur dann durchgeführt, wenn dadurch eine Verbesserung erzielt werden kann: Die angenommene Sanierungsqualität muss besser sein als die Qualität des Bestandes. Dieses Kriterium wird über den Heizwärmebedarf kontrolliert. Dafür müssen die aus der Innsbrucker Baseline entnommenen, auf Endenergieebene vorliegenden kalibrierten Raumwärmeenergie-Bedarfsdaten zuerst

über die Jahresnutzungsgrade (Kap. 16.3.2.3) in Nutzenergie – den Heizwärmebedarf – umgerechnet werden.

Die genaue Ermittlung der in einem Jahr sanierten Brutto-Grundfläche läuft folgendermaßen ab: Im ersten Schritt wird die für eine Sanierung zur Verfügung stehende Brutto-Grundfläche ermittelt. Dabei wird getrennt nach Bauperioden jener Teil der Brutto-Grundfläche identifiziert, der die zuvor beschriebenen Kriterien erfüllt. Dieser Brutto-Grundflächen-Teil ist bereits um die im betrachteten Jahr stattfindenden Abrisse reduziert. Im zweiten Schritt wird die im Modell zu sanierende Brutto-Grundfläche bestimmt. Dafür wird die äquivalente umfassende Sanierungsrate herangezogen (z.B. Tab. 62). Diese wird mit der zu Beginn des betrachteten Jahres je Bauperiode insgesamt vorhandenen Brutto-Grundfläche multipliziert. Das erhaltene Resultat wird gegebenenfalls reduziert, falls es die verfügbare Brutto-Grundfläche überschreitet. Im Ergebnis wird die in einem Jahr zu sanierende Brutto-Grundfläche je Bauperiode erhalten. Speziell beim Neubau bewirkt dieses Vorgehen, dass in den ersten 25 Jahren keine Maßnahmen durchgeführt werden. In den Jahren danach kommt es zu einem Ausgleich, sodass normalerweise immer ein Teil der Brutto-Grundfläche einer Gebäudeklasse saniert wird. Dieser Teil wird dann für die nächsten 25 Jahre gesperrt.

Im Resultat ergibt sich über den Zeitraum 2016 bis 2050 eine durchschnittliche äquivalente umfassende Sanierungsrate von ca. 1,3 % pro Jahr (unter Berücksichtigung aller Zusatzannahmen). Teilsanierungen sind darin enthalten.

16.3.3.4.2 Angenommene Austauschrate Heizsystem

Zusätzlich zum Austausch des Heizsystems im Rahmen einer umfassenden Sanierung (Kap. 16.3.3.4.1) wird der Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme ins Szenarien-Energiemodell integriert. Unter den Austausch des Heizsystems fallen die Systeme zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Laut einer Schweizer Studie werden pro Jahr ca. 3,3 % der Heizsysteme in Wohngebäuden erneuert (Stichprobenumfang: 1.725). Bei 18 % davon wird nur eine Instandsetzung durchgeführt. Somit beträgt die Austauschrate in dieser Untersuchung ca. 2,7 % pro Jahr. Bei den Bürogebäuden liegt die Eingriffsrate laut dieser Studie zwischen 4,3 % und 5,2 % pro Jahr (Stichprobenumfang: 300). Es ist nicht bekannt, wie groß der Anteil ist, an dem lediglich eine Instandsetzung durchgeführt wird (JAKOB et al. 2014).

Im Modell ist ein Austausch des Heizsystems in der äquivalenten umfassenden Sanierungsrate enthalten. Daher ergibt sich die Austauschrate des Heizsystems als Einzelmaßnahme aus der Gesamt- Austauschrate abzüglich der äquivalenten umfassenden Sanierungsrate. Analog zur Sanierung wird im Modell nur dann ein Austausch des Heizsystems erlaubt, wenn die letzte Maßnahme – Neubau, äquivalente umfassende Sanierung oder Austausch des Heizsystems – mindestens 25 Jahre zurückliegt. Folglich wird die angegebene Austauschrate erst dann wirksam, wenn dieses Kriterium erfüllt ist.

Die Gesamt-Austauschrate ist in Tab. 63 dargestellt. Sie ist so gewählt, dass bis zum Jahr 2050 keine fossilen Energieträger mehr vorhanden sind. Dafür werden ab dem Jahr 2021 keine neuen Systeme mit fossilen Energieträgern mehr eingesetzt. Die grau eingefärbten Werte sind nicht wirksam, da der Errichtungszeitpunkt weniger als 25 Jahre zurückliegt.

In Tab. 63 stechen vor allem die Austauschraten der Bauperioden 2011 bis 2015 und 2016 bis 2020 heraus.

Es sind die letzten Bauperioden, in denen zum Errichtungszeitpunkt noch Systeme mit fossilen Energieträgern installiert werden. Da in den ersten 25 Jahren nach der Errichtung jegliche Maßnahmen gesperrt sind, steht im Anschluss nur mehr ein sehr kurzer Zeitraum zur Verfügung, um alle Heizsysteme mit fossilen Energieträgern zu entfernen (für Bauperiode 2011 bis 2015: zwischen 10 und 15 Jahren; Bauperiode 2016 bis 2020: zwischen 5 und 10 Jahren). Aus diesem Grund ist die Austauschrate in diesen Perioden viel höher als in den restlichen. Es muss beachtet werden, dass im Szenarien-Energiemodell kein gezielter Austausch von fossilen Heizsystemen berücksichtigt ist. Durch eine höhere Austauschrate werden auch jene Systeme vermehrt erneuert, die keine fossilen Energieträger einsetzen. Die bestehenden Systeme (Basisjahr 2015) und die bis zum Jahr 2020 neu eingesetzten Systeme beruhen jedoch zu ca. 80 % auf fossilen Energieträgern.

Tab. 63: Gesamt-Austauschrate Heizsystem (inklusive äquivalenter umfassender Sanierung) nach Bauperiode.

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%

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Die genaue Berechnung der von einem Austausch des Heizsystems betroffenen Brutto-Grundfläche läuft in mehreren Schritten ab: Als erstes wird – getrennt nach Bauperioden – jene Brutto-Grundfläche bestimmt, die für einen Austausch des Heizsystems (als Einzelmaßnahme) zur Verfügung steht. Sie ergibt sich unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen 25-Jahre-Regel. Die im betrachteten Jahr von einer Sanierung oder einem Abriss betroffene Brutto-Grundfläche ist bereits abgezogen. Im zweiten Schritt wird die Brutto-Grundfläche bestimmt, bei der im Modell das Heizsystem auszutauschen ist (Einzelmaßnahme). Dafür wird die Gesamt-Austauschrate herangezogen (Tab. 63). 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. Man erhält die Brutto-Grundfläche, bei der das Heizsystem in Form einer Einzelmaßnahme erneuert wird.
Die durchschnittliche Gesamt-Heizsystem-Austauschrate beträgt ca. 3,0 %. Bei einem reinen Heizsystemaustausch – Einzelmaßnahme – ändert sich der Heizwärmebedarf (Nutzenergie) des Gebäudes nicht. Es wird weiterhin der davor gültige Wert angesetzt. Durch die geänderte Energieträgerverteilung kommt es jedoch zu einer Abweichung auf Endenergieebene.

16.3.3.4.3 Angenommene Sanierungsqualität

Die Sanierungsqualität von äquivalenten umfassenden Sanierungen wird analog zur Neubauqualität (Kap. 0) durch den auf die konditionierte Brutto-Grundfläche bezogenen Heizwärmebedarf beschrieben. Es wird angenommen, dass sich die zukünftige Sanierungsqualität am Nationalen Plan des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) orientiert. In diesem ist bis zum Jahr 2021 ein maximaler Referenz-Heizwärmebedarf für größere angegeben. Die Sanierungsqualität ab dem Jahr 2023 entspricht dem Niedrigstenergiegebäude (OIB 2014). Diese Heizwärmebedarfs-Werte werden über den gesamten Zeitraum von 2023 bis 2050 übernommen. Um die Unterschiede in den Gebäudekategorien zwischen IEP und den hier verwendeten Gebäudekategorien zu berücksichtigen, wird bei der Gebäudekategorie EFH für Neubauqualität der Mittelwert aus den Daten vom EFH und RH (IEP) gebildet. Selbiges gilt für das EFH-K (Mittelwert aus MFH-K und MFH-M). Die Sanierungsqualität ist in Tab. 64 ersichtlich.

Tab. 64: Angesetzte Sanierungsqualität für alle Szenarien Abhängigkeit der Gebäudekategorie.

Jahr	Heizwärmebedarf Neubau [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

Datengrundlage: Werte aus Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017)), angepasst an verwendete Gebäudekategorien.

16.3.3.4.4 Angenommener Warmwasserwärmebedarf bei Sanierungen bzw. Austausch des Heizsystems

Es wird der Warmwasserwärmebedarf vom Neubau übernommen. Die verwendeten Werte sind in Tab. 57 gegliedert nach Gebäudekategorien enthalten.

16.3.3.5 Angenommener Strombedarf exkl. Wärme bei Sanierungen bzw. Austausch des Heizsystems

Es gelten die gleichen Annahmen und Werte wie beim Neubau (Kap. 16.3.3.3.3).

16.3.3.6 Angenommene Energieträgerverteilung und Jahresnutzungsgrade für Raumwärme bei Sanierungen bzw. Austausch des Heizsystems

Analog zum Neubau werden auch für äquivalente umfassende Sanierungen und den Austausch des Heizsystems (Einzelmaßnahme) zwei verschiedene Arten an Energieträgerverteilungen (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche) definiert: die Trend-Energieträgerverteilung orientiert sich an der momentanen Entwicklung und bei der Ziel-Energieträgerverteilung werden keine fossilen Energieträger, nur mehr erneuerbare, eingesetzt. Bei den gewählten Energieträgerverteilungen wird keine Unterscheidung zwischen äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme gemacht.
Bei der Ermittlung der beiden Energieträgerverteilungen wird analog zum Neubau vorgegangen.
Die Trend-Energieträgerverteilung ist beispielhaft für das Einfamilienhaus in der ersten Spalte der Tab. 65 angegeben. Die Ziel-Energieträgerverteilung ist in der zweiten Spalte eingetragen. Die anderen Gebäudekategorien sind im Tabellenanhang (Tab. 97 bis Tab. 102) aufgelistet.

Tab. 65: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Einfamilienhäuser 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 Kombination mit Solarthermie	1,1%	0,0%
Gas	52,4%	0,0%
davon: Gas in Kombination mit Solarthermie	4,7%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,9%	1,8%
Holz	8,1%	8,1%
davon: Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,8%	2,9%
davon: Strom in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Wärmepumpe	4,4%	87,2%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Es wird angenommen, dass zur Heizungsunterstützung eingesetzte Solarthermie-Anlagen nach Durchführung einer äquivalenten umfassenden Sanierung 20 % des Heizwärmebedarfs (Nutzenergie) decken (EICKER 2011). Bei einem Austausch des Heizsystems als Einzelmaßnahme wird der Wert wie beim Bestand mit 15 % angesetzt (Kap. 16.3.2.4). Der Grund für die Unterscheidung liegt an der Abhängigkeit des Deckungsgrades von der thermischen Qualität der Gebäudehülle.
Die Jahresnutzungsgrade der Raumwärme-Bereitstellungs-Systeme sind analog zum Neubau (Kap. 16.3.3.3.4). Sie sind in Tab. 46 enthalten.

16.3.3.6.1 Angenommene Energieträgerverteilung und Jahresnutzungsgrade für Warmwasser bei Sanierungen bzw. Austausch des Heizsystems

Zur Ermittlung der Energieträgerverteilung von äquivalenten umfassenden Sanierungen und dem Austausch des Heizsystems (Einzelmaßnahme) wird analog zum Neubau (Kap. 16.3.3.3.5) vorgegangen. Es werden die gleichen Annahmen getroffen. Das Ergebnis ist beispielhaft für das Mehrfamilienhaus-Mittel in Tab. 66 dargestellt. Die Energieträgerverteilungen der restlichen Gebäudekategorien sind im Tabellenanhang (Tab. 103 bis Tab. 108) ersichtlich.

Tab. 66: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Einfamilienhäuser 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	**30,1%**	**41,0%**
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	0,9%	1,8%
Holz	3,3%	3,3%
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	**62,7%**	**0,0%**
Strom	62,7%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	**0,0%**	**10,0%**
Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	**3,9%**	**45,8%**
Öl	0,0%	0,0%
Gas	1,6%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,3%	45,8%
Solarthermie kombiniert mit anderen (z.B. E-Heizstab)	**3,3%**	**3,3%**
Strom	3,3%	3,3%

16.3.4 Zeitreihen der Entwicklung der Gebäude im Sektor Sonstige

Für die Szenarien I&II liegen Zeitreihen über die Entwicklung des Wärme- und Gesamt-Endenergiebedarf vor, welche im Folgenden beschrieben werden. Die Zeitreihen für Wohn-, Nicht-Wohngebäude und Gebäude Gesamt sowie eine prozentuelle Darstellung der Verläufe können gesammelt den Abbildungen Abb. 45 bis Abb. 59 entnommen werden.
Der im Folgenden abgebildete Endenergiebedarf setzt sich aus verschiedenen Komponenten bzw. Energieträgern zusammen.

16.3.4.1 Wärme-Endenergiebedarf

Für die Szenarien I&II stehen sowohl für die Wohn- und Nichtwohngebäude Zeitreihen über die Entwicklung der Energieträgerverteilung zur Verfügung. Bei den Nichtwohngebäuden sind die Industriegebäude nicht enthalten. Für die Szenarien I&II ergibt sich für 2050 eine Einsparung von 34,3 %. Unter Berücksichtigung der Umweltwärme (Solarthermie und Wärmepumpe Umwelt) ergibt sich eine Reduktion von 73,3 %. Der Wärme-Endenergieverlauf ist in Abb. 45 ersichtlich. Die Endenergiereduktion wird bedingt durch eine Verbesserung in der Neubau- und Sanierungsqualität sowie den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen. Es werden ab dem Jahr 2021 keine Systeme mit fossilen Energieträgern neu installiert. Diese Maßnahme erklärt den Knick zum erwähnten Zeitpunkt. Durch die angenommene Austauschrate von Heizsystemen werden die Energieträger Öl, Gas und Kohle im Jahr 2050 nicht mehr eingesetzt.

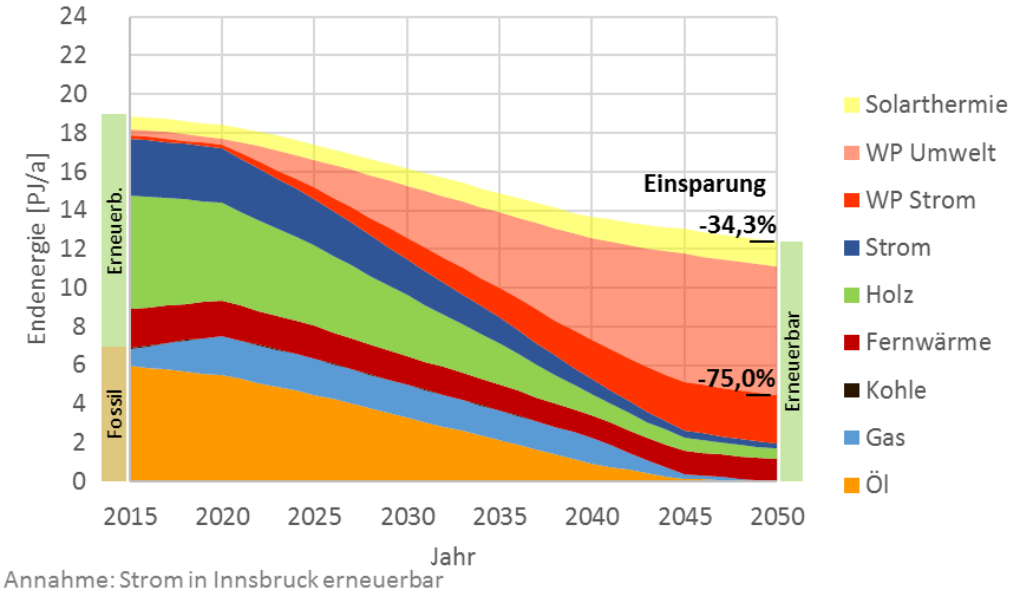


Abb. 45: Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II Wohngebäude für Tirol.

Im Jahr 2046 ist ein weiterer Knick erkennbar. Dieser hängt mit dem beginnenden Ausstieg aus fossilen Energieträgern ab dem Jahr 2021 zusammen. 25 Jahre später wird damit begonnen, diese nach dem Jahr

2021 neu installierten Systeme ein weiteres Mal zu tauschen. In beiden Fällen liegt eine Energieträgerverteilung frei von Öl, Gas und Kohle zugrunde. Es sind ab bzw. nach 2046 aber immer noch einige Heizungssysteme im Einsatz, die Öl, Gas oder Kohle nutzen. Sie wurden seit 2021 noch nicht erneuert und müssen spätestens bis 2050 noch ausgetauscht werden.

Abb. 46 zeigt den Wärme-Endenergiebedarf der Nicht-Wohngebäude von Szenario I&II. Der Entwicklungsverlauf ist durch die gleichen Charakteristika wie bei den Wohngebäuden gekennzeichnet.

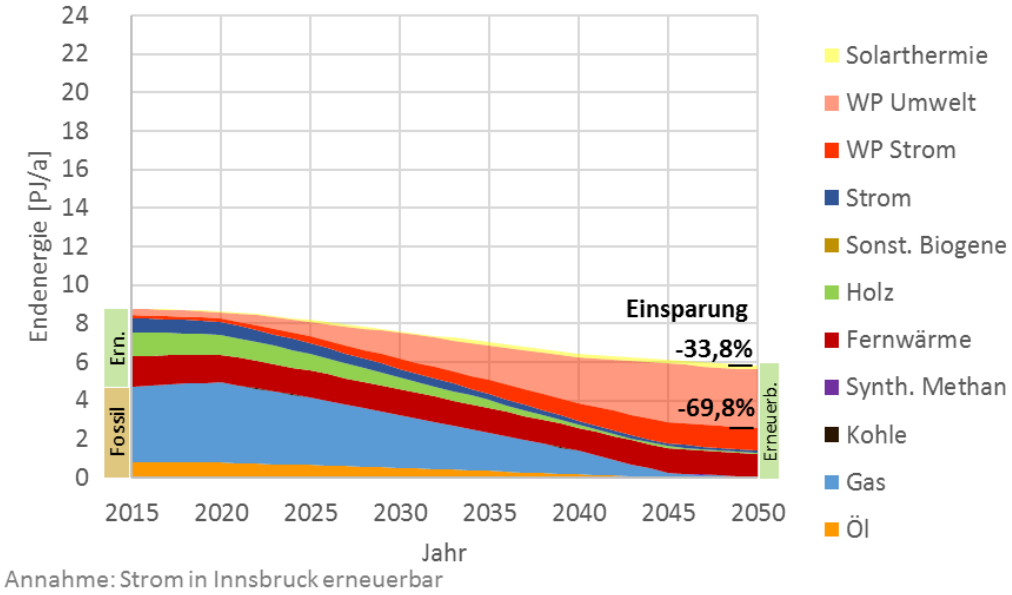


Abb. 46: Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II Nicht-Wohngebäude (inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) für Tirol.

Durch Zusammenführung des Wärme-Endenergiebedarfs von Wohngebäuden (Abb. 45) und Nicht-Wohngebäuden (Abb. 46) erhält man den gesamten Wärme-Endenergiebedarf von Tirol. Dieser ist in Abb. 47 dargestellt.

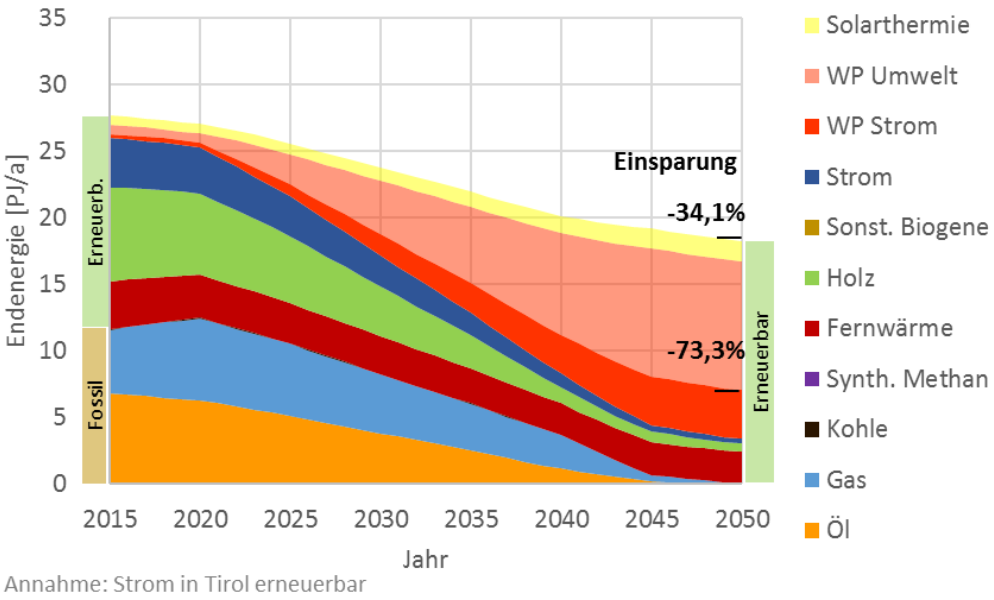


Abb. 47: Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II für den Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude exkl. Industrie) für Tirol.

16.3.4.2 Gesamt-Endenergiebedarf

Denr Gesamt-Endenergiebedarf der Wohngebäude, welcher sich aus Wärme (Abb. 45) und Strom exkl. Wärme zusammensetzt, zeigt Abb. 48. Der Strombedarf exkl. Wärme bei den Wohngebäuden nimmt im betrachteten Zeitraum um 14 % ab. Die Gesamt-Endenergieeinsparung beträgt 31,6 %. Bei Nicht-Anrechnung der Umweltwärme (Solarthermie, Wärmepumpe Umwelt) kann die geforderte Endenergie-Einsparung von 50 % erfüllt werden – es wird eine Einsparung von 66,6 % erreicht.

Der Gesamt-Endenergiebedarf für Nicht-Wohngebäude (exkl. Industrie) ergibt sich aus dem Wärme-Endenergiebedarf (Abb. 47) und dem Strombedarf exkl. Wärme. Der Strombedarf exkl. Wärme nimmt im betrachteten Zeitraum um 18 % ab. Für Nicht-Wohngebäude (exkl. Industrie) erhält man den in Abb. 49 dargestellten Verlauf. Es ergibt sich ein ähnlicher Einspareffekt wie bei den Wohngebäuden. Die Gesamt-Endenergieeinsparung beträgt 31,6 %. Unter Berücksichtigung der Umweltwärme erhöht sich die Einsparung auf 66,6 %.

Der Gesamt-Endenergiebedarf von Tirol (Abb. 50) setzt sich aus den Wohngebäuden (Abb. 48) und den Nicht-Wohngebäuden (Abb. 49) zusammen. Der Strombedarf exkl. Wärme nimmt im betrachteten Zeitraum um 15 % ab.

Nach der Definition der ÖNORM H 5056:2014 (ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT 2014) wird der Endenergiebedarf des Jahres 2050 im Vergleich zu 2016 um 65,4 % reduziert, wodurch das Ziel einer Reduktion um 50 % erreicht ist. Bei Anrechnung der Umweltwärme zur Endenergie (wie nach NEA (STATISTIK

AUSTRIA 2017) vorgesehen) erhält man eine Einsparung von 31,7 %, also unter den angestrebten Zielen. Durch den erhöhten Austausch von Heizsystemen werden im Jahr 2050 keine fossilen Energieträger mehr eingesetzt. Das Szenario erfüllt somit die Tiroler Energiestrategie (wenn Umweltwärme nicht angerechnet wird).

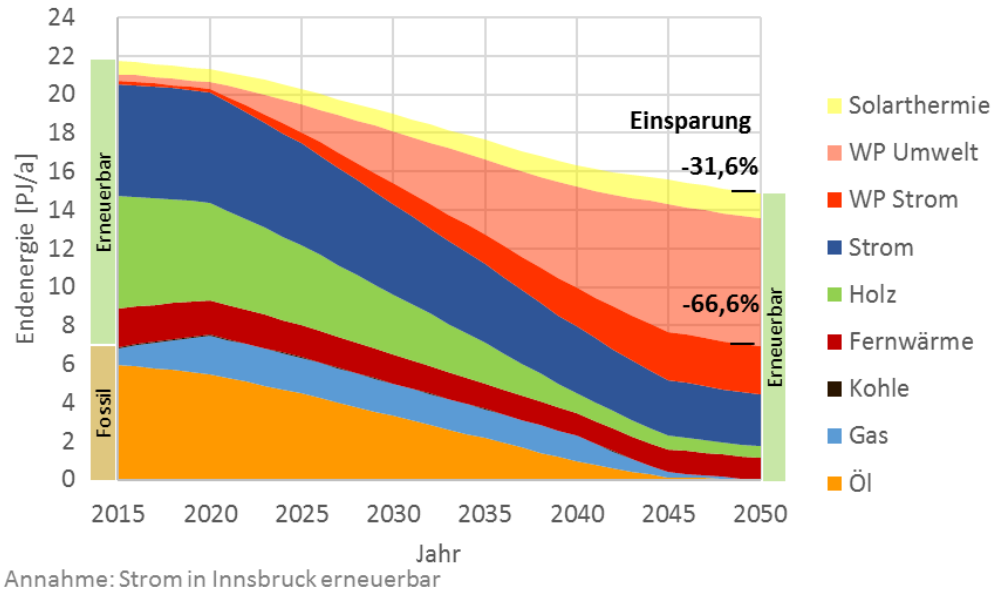


Abb. 48: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II für Wohngebäude in Tirol.

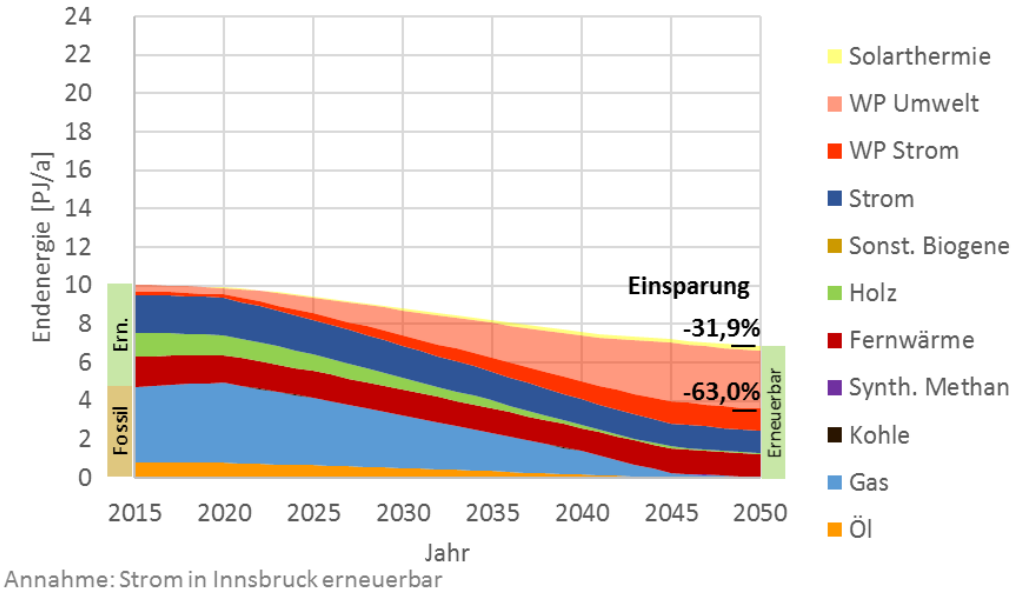


Abb. 49: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II für Nicht-Wohngebäude (inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie).

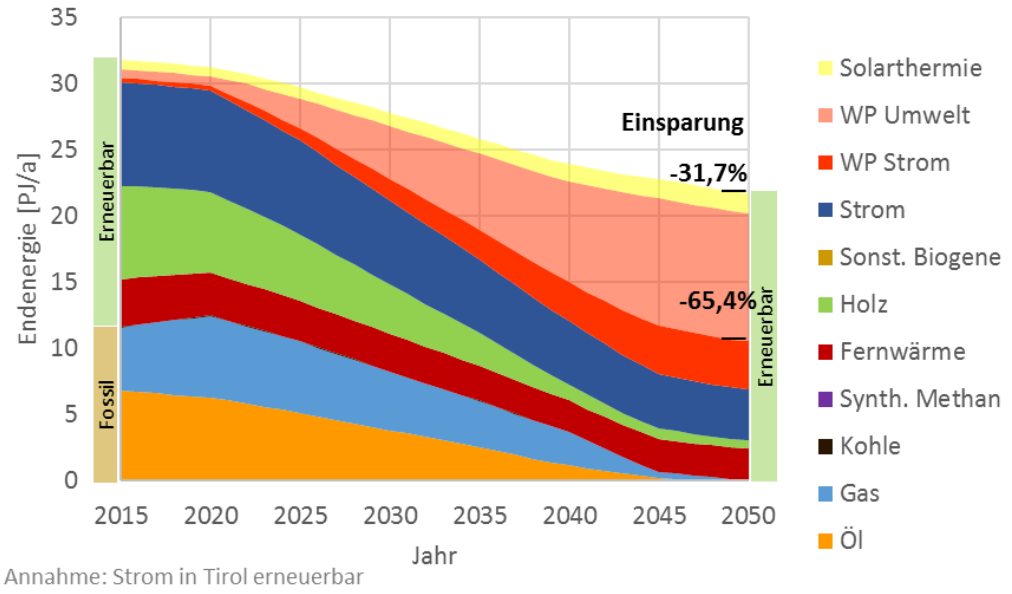


Abb. 50: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II für den Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie).

Abb. 51 zeigt die Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs ohne Umweltwärme. Sie ist im Gegensatz zur vorher angeführten nicht nach Energieträgern, sondern nach Wohn- und Nicht-Wohngebäuden getrennt. An dieser Abbildung ist gut erkennbar, dass der Wohnbereich das geringere Einsparpotenzial des Nicht-Wohnbereichs durch große Einsparung seinerseits kompensieren muss.

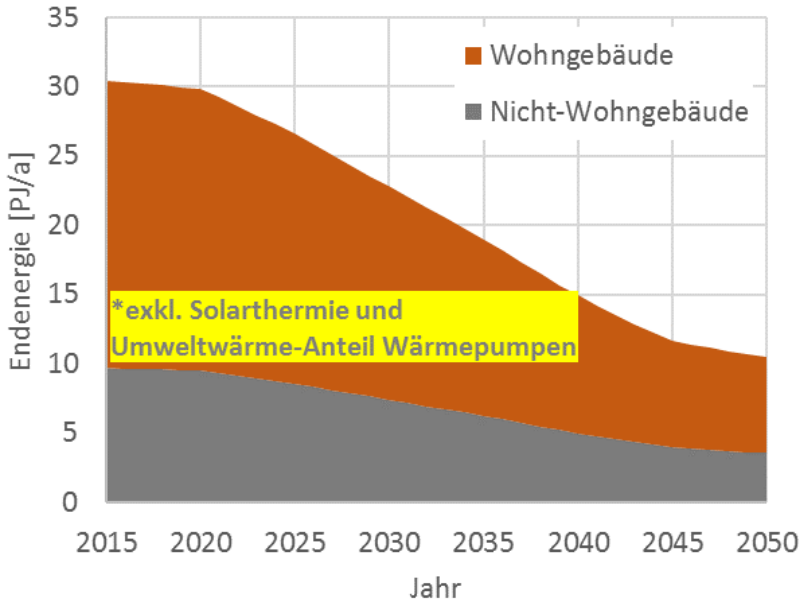


Abb. 51: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II, getrennt nach Wohn- und Nicht-Wohngebäuden (inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie) inkl. Umweltwärme (Solarthermie und Wärmepumpenanteil).

Zum Vergleich zeigt Abb. 52 die Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs unter Berücksichtigung der Umweltwärme (Solarthermie, Wärmepumpe).

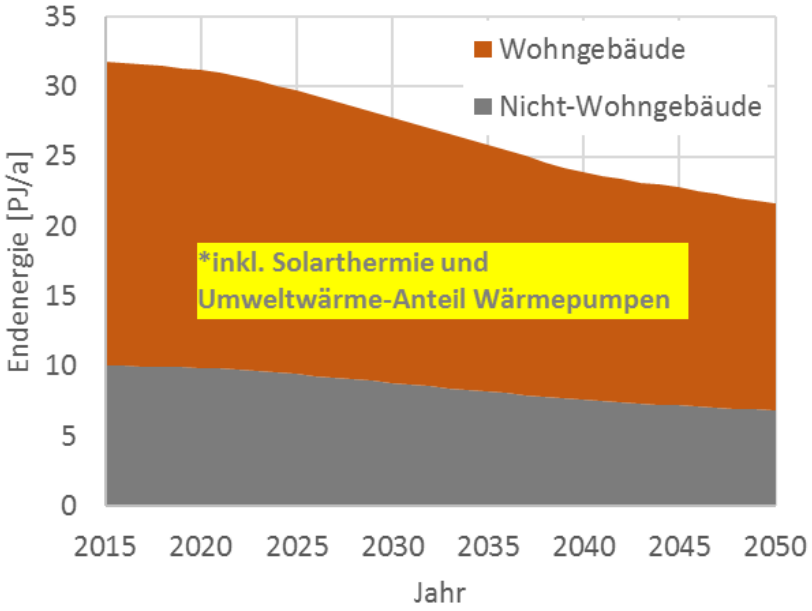


Abb. 52: Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs beim Szenario I&II, getrennt nach Wohn- und Nicht-Wohngebäuden (inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie) inkl. Umweltwärme (Solarthermie und Wärmepumpenanteil).

Abb. 53 zeigt die Energieträgerverteilung der drei Szenarien zum Endzeitpunkt 2050 sowie zum Ausgangszeitpunkt 2016.

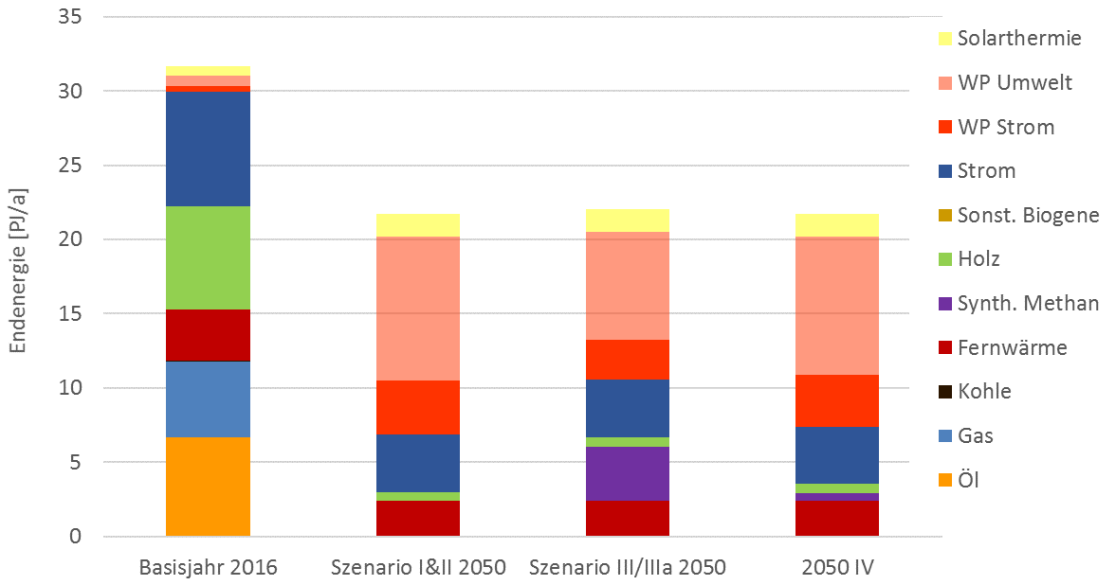


Abb. 53: Endenergiebedarf von 2050 im Vergleich zu 2016 von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden (inkl. Landwirtschaft und exkl. Industrie).

16.3.5 Tabellenanhang gesamte Eingabedaten

Spezifischer Strombedarf exkl. Wärme:

Tab. 67: Datenbasis EFH, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme.

Bauperiode	Spez. Strombedarf exkl. Wärme [kWh/m²/a]			
	EFH IEP	RH IEP	EFH Tirol 2050	EFH korrigiert
Bis 1919	35,4	28,2	31,8	17,1
1920-1944	35,4	28,2	31,8	17,1
1945-1960	35,4	28,2	31,8	17,1
1961-1970	35,4	28,2	31,8	17,1
1971-1980	35,4	28,2	31,8	17,1
1981-1990	35,4	28,2	31,8	17,1
1991-2000	35,4	28,2	31,8	17,1
2001-2010	35,4	28,2	31,8	17,1
2011-2015	35,4	28,2	31,8	17,1

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 68: Datenbasis MFH-K, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme.

Bauperiode	Spez. Strombedarf exkl. Wärme [kWh/m²/a]			
	MFH-K IEP	MFH-M IEP	MFH-K Tirol 2050	MGH-K korrigiert
Bis 1919	32,3	29,2	30,75	16,5
1920-1944	32,3	29,2	30,75	16,5
1945-1960	32,3	29,2	30,75	16,5
1961-1970	32,3	29,2	30,75	16,5
1971-1980	32,3	29,2	30,75	16,5
1981-1990	32,3	29,2	30,75	16,5
1991-2000	32,3	29,2	30,75	16,5
2001-2010	32,3	29,2	30,75	16,5
2011-2015	32,3	29,2	30,75	16,5

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 69: Datenbasis MFH-G, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme.

Bauperiode	Spez. Strombedarf exkl. Wärme [kWh/m²/a]		
	MFH-G IEP	MFH-G Tirol 2050	MFH-korrigiert
Bis 1919	29,0	29,0	15,6
1920-1944	29,0	29,0	15,6
1945-1960	29,0	29,0	15,6
1961-1970	29,0	29,0	15,6
1971-1980	29,0	29,0	15,6
1981-1990	29,0	29,0	15,6
1991-2000	29,0	29,0	15,6
2001-2010	29,0	29,0	15,6
2011-2015	29,0	29,0	15,6

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 70: Datenbasis Nicht-Wohngebäude, spezifischer Strombedarf exkl. Wärme.

Bauperiode	Spez. Strombedarf exkl. Wärme [kWh/m²/a]			
	MN IEP	MN korrigiert	GW IEP	GW korrigiert
Bis 1919	64,0	14,0	114,7	14,9
1920-1944	64,0	14,0	114,7	14,9
1945-1960	64,0	14,0	114,7	14,9
1961-1970	64,0	14,0	114,7	14,9
1971-1980	64,0	14,0	114,7	14,9
1981-1990	64,0	14,0	114,7	14,9
1991-2000	64,0	14,0	114,7	14,9
2001-2010	64,0	14,0	114,7	14,9
2011-2015	64,0	14,0	114,7	14,9

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Spezifischer Raumwärmeenergiebedarf:

Tab. 71: Datenbasis EFH, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Raumwärmeenergiebedarf [kWh/m²/a]			
	EFH IEP	RH IEP	EFH Tirol 2050	EFH korrigiert
Bis 1919	213,8	139,8	176,8	149,9
1920-1944	162,3	126,6	144,45	122,5
1945-1960	125,3	92,0	108,65	92,1
1961-1970	112,9	111,4	112,15	95,1
1971-1980	151,2	155,6	153,4	130,1
1981-1990	116,3	78,9	97,6	82,8
1991-2000	91,5	147,9	119,7	101,5
2001-2010	66,8	99,4	83,1	70,5
2011-2015	64,0	88,6	76,3	35,0

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 72: Datenbasis MFH-K, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Raumwärmeenergiebedarf [kWh/m²/a]			
	MFH-K IEP	MFH-M IEP	MFH-K Tirol 2050	MFH-K korrigiert
Bis 1919	95,2	59,9	77,55	100,5
1920-1944	52,7	39,7	46,2	64,9
1945-1960	47,7	44,9	46,3	65,7
1961-1970	51,0	114,9	82,95	66,6
1971-1980	73,3	181,4	127,35	91,2
1981-1990	102,4	124,5	113,45	86,5
1991-2000	118,7	132,3	125,5	87,3
2001-2010	85,4	72,2	78,8	66,6
2011-2015	83,7	74,1	78,9	66,1

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 73: Datenbasis MFH-G, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Raumwärmeenergiebedarf [kWh/m²/a]		
	MFH-G IEP	MFH-G Tirol 2050	MFH-G korrigiert
Bis 1919	59,9	59,9	50,9
1920-1944	39,7	39,7	33,9
1945-1960	44,9	44,9	38,2
1961-1970	114,9	114,9	97,5
1971-1980	181,4	181,4	153,5
1981-1990	124,5	124,5	106,0
1991-2000	132,3	132,3	111,9
2001-2010	72,2	72,2	61,1
2011-2015	74,1	74,1	62,8

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 74: Datenbasis Nicht-Wohngebäude, spezifischer Raumwärmeenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Raumwärmeenergiebedarf [kWh/m²/a]			
	MN IEP	MN korrigiert	GW IEP	GW korrigiert
Bis 1919	143,4	88,5	48,8	88,5
1920-1944	160,2	88,5	53,4	88,5
1945-1960	153,1	88,5	94,5	88,5
1961-1970	172,1	88,5	100,8	88,5
1971-1980	116,0	88,5	78,6	88,5
1981-1990	66,5	88,5	79,6	88,5
1991-2000	86,5	88,5	60,4	88,5
2001-2010	42,8	88,5	47,9	88,5
2011-2015	29,6	88,5	45,3	88,5

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Spezifischer Warmwasserenergiebedarf:

Tab. 75: Datenbasis EFH, spezifischer Warmwasserenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Warmwasserenergiebedarf [kWh/m²/a]			
	EFH IEP	RH IEP	EFH Tirol 2050	EFH Korrigiert
Bis 1919	23,0	26,0	24,5	23,9
1920-1944	24,0	27,1	25,55	24,9
1945-1960	23,8	27,9	25,85	25,2
1961-1970	23,6	27,3	25,45	24,8
1971-1980	23,5	27,5	25,5	24,9
1981-1990	23,8	26,9	25,35	24,7
1991-2000	23,9	27,1	25,5	24,9
2001-2010	23,5	27,1	25,3	24,7
2011-2015	24,4	28,5	26,45	25,8

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 76: Datenbasis MFH-K, spezifischer Warmwasserenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Warmwasserenergiebedarf [kWh/m²/a]			
	MFH-K IEP	MFH-M IEP	MFH-K Tirol 2050	MFH-K korrigiert
Bis 1919	22,4	19,7	21,05	20,5
1920-1944	23,3	19,7	21,5	21,0
1945-1960	23,8	19,9	21,85	21,3
1961-1970	23,9	21,3	22,6	22,0
1971-1980	23,7	21,8	22,75	22,2
1981-1990	24,0	21,4	22,7	22,1
1991-2000	24,0	21,7	22,85	22,3
2001-2010	23,4	21,1	22,25	21,7
2011-2015	26,2	23,0	24,6	24,0

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 77: Datenbasis MFH-G, spezifischer Warmwasserenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Warmwasserenergiebedarf [kWh/m²/a]		
	MFH-G IEP	MFH-G Tirol 2050	MFH-G korrigiert
Bis 1919	20,8	20,8	20,3
1920-1944	20,7	20,7	20,2
1945-1960	20,6	20,6	20,1
1961-1970	22,7	22,7	22,1
1971-1980	23,7	23,7	23,1
1981-1990	23,4	23,4	22,8
1991-2000	23,5	23,5	22,9
2001-2010	23,7	23,7	23,1
2011-2015	25,5	25,5	24,9

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Tab. 78: Datenbasis Nicht-Wohngebäude, spezifischer Warmwasserenergiebedarf.

Bauperiode	Spez. Raumwärmeenergiebedarf [kWh/m²/a]			
	MN IEP	MN korrigiert	GW IEP	GW korrigiert
Bis 1919	17,3	12,6	9,3	12,6
1920-1944	17,5	12,6	9,3	12,6
1945-1960	17,9	12,6	10,1	12,6
1961-1970	17,1	12,6	9,3	12,6
1971-1980	16,5	12,6	10,2	12,6
1981-1990	16,4	12,6	9,2	12,6
1991-2000	14,4	12,6	9,2	12,6
2001-2010	15,4	12,6	10,1	12,6
2011-2015	17,3	12,6	16,1	12,6

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017), angepasst an Nutzenergieanalyse 2016 (STATISTIK AUSTRIA 2017).

Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung im Bereich Raumwärme:

Tab. 79: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete EFH im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme 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	6,0%	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%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Tab. 80: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Mehrfamilienhäuser-Klein im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung MFH-K (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme 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%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Tab. 81: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Mehrfamilienhäuser-Groß im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung MFH-G (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme Neubau	**2016-2020**	**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%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Tab. 82: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Mischnutzung (Hotels) im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung MN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme 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%

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Tab. 83: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche) für neu errichtete Gewerbe-Gebäude im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung GW (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme 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%

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Tab. 84: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche) für neu errichtete mit Weiter Nutzung (Industrie) im Bereich Raumwärme.

Energieträgerverteilung WN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Raumwärme 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%

Quelle: Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung im Bereich Raumwärme:

Tab. 85: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Einfamilienhäuser im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung EFH (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser 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%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Tab. 86: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Mehrfamilienhäuser-Klein im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung MFH-K (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser Neubau	**2016-2020**	**2021-2050**
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	**64,2%**	**39,4%**
Öl	0,4%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	52,3%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	4,5%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	2,2%	4,5%
Holz	0,6%	0,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	1,8%
Strom in Kombination mit Solarthermie	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. E-Heizstab)	**2,9%**	**2,9%**
Strom	2,9%	2,9%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Tab. 87: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Mehrfamilienhäuser-Groß im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung MFH-G (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser Neubau	**2016-2020**	**2021-2050**
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	**70,6%**	**70,7%**
Öl	0,4%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	46,4%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	4,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	18,0%	35,9%
Holz	0,2%	0,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,5%
Strom in Kombination mit Solarthermie	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%
Solarthermie 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%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. E-Heizstab)	**2,8%**	**2,8%**
Strom	2,8%	2,8%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Tab. 88: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Mischnutzung (Hotel) im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung MN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser 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. E-Heizstab)	**15,3%**	**7,6%**
Strom	15,3%	7,6%

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Tab. 89: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gewerbe-Gebäude mit im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung GW (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser 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. E-Heizstab)	**20,2%**	**10,1%**
Strom	20,2%	10,1%

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Tab. 90: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für neu errichtete Gebäude mit Weiterer Nutzung (Industrie) im Bereich Warmwasser.

Energieträgerverteilung WN (Bezug: konditionierte Brutto-Grundfläche)		
Energieträger Warmwasser 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. E-Heizstab)	**5,0%**	**2,5%**
Strom	5,0%	2,5%

Datengrundlage: Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Äquivalente umfassende Sanierungsrate:

Tab. 91: 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. 92: 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. 93: 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 %

Tab. 94: 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. 95: 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. 96: 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 %

Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Raumwärme nach einer Sanierung:

Tab. 97: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Einfamilienhäuser 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 Kombination mit Solarthermie	1,1%	0,0%
Gas	52,4%	0,0%
davon: Gas in Kombination. mit Solarthermie	4,7%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	0,9%	1,8%
Holz	8,1%	8,1%
davon: Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,8%	2,9%
davon: Strom in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,9%
Wärmepumpe	4,4%	87,2%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Tab. 98: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Mehrfamilienhäuser-Klein 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	63,6%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	3,5%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	2,4%	4,7%
Holz	4,9%	4,9%
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%	88,2%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Tab. 99: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Mehrfamilienhäuser-Groß 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	52,2%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	3,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	19,0%	37,9%
Holz	1,4%	1,4%
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%	57,8%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (Dobler & Streicher, 2017)

Tab. 100: 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	66,9%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	1,9%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	8,5%	16,9%
Holz	0,0%	1,0%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	1,0%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,6%	1,1%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,3%	1,1%
Wärmepumpe	8,1%	80,9%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (Dobler et al. 2017).

Tab. 101: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gewerbe-Gebäude 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	73,2%	0,0%
davon: Gas in Komb. mit Solarthermie	4,1%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	12,7%	25,3%
Holz	0,0%	1,0%
davon: Holz in Komb. mit Solarthermie	0,0%	1,0%
Strom (ohne Wärmepumpe)	0,3%	3,3%
davon: Strom in Komb. mit Solarthermie	0,2%	3,3%
Wärmepumpe	3,2%	70,4%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Tab. 102: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für 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%

Datengrundlage: in Anlehnung an den Energieplan Innsbruck (DOBLER et al. 2017).

Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Warmwasser nach einer Sanierung:

Tab. 103: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Einfamilienhäuser 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	**30,1%**	**41,0%**
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	0,9%	1,8%
Holz	3,3%	3,3%
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	**62,7%**	**0,0%**
Strom	62,7%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	**0,0%**	**10,0%**
Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	**3,9%**	**45,8%**
Öl	0,0%	0,0%
Gas	1,6%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,3%	45,8%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. E-Heizstab)	**3,3%**	**3,3%**
Strom	3,3%	3,3%

Tab. 104: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Mehrfamilienhäuser-Klein 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	**2016-2020**	**2021-2050**
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	**29,4%**	**41,1%**
Öl	10,5%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,8%	0,0%
Gas	9,7%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	3,5%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	2,4%	4,7%
Holz	2,0%	2,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	2,2%
Strom in Kombination mit Solarthermie	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 Fernwärme	**0,0%**	**0,0%**
Fernwärme	0,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels elektrischer Energie	**64,4%**	**0,0%**
Strom	64,4%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	**0,0%**	**10,0%**
Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	**3,4%**	**46,1%**
Öl	0,0%	0,0%
Gas	1,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,0%	46,1%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. E-Heizstab)	**2,9%**	**2,9%**
Strom	2,9%	2,9%

Tab. 105: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Mehrfamilienhäuser-Groß 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	**2016-2020**	**2021-2050**
Kombinierte Erzeugung mit Raumwärme	**42,9%**	**72,2%**
Öl	10,1%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,8%	0,0%
Gas	8,6%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	3,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	19,0%	37,9%
Holz	0,6%	0,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	1,4%
Strom in Kombination mit Solarthermie	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	**51,0%**	**0,0%**
Strom	51,0%	0,0%
Getrennte Erzeugung mittels separater Wärmepumpe	**0,0%**	**10,0%**
Wärmepumpe	0,0%	10,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	**3,3%**	**15,0%**
Öl	0,0%	0,0%
Gas	1,3%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,0%	15,0%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. E-Heizstab)	**2,8%**	**2,8%**
Strom	2,8%	2,8%

Tab. 106: 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%**	**41,1%**
Öl	4,4%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	30,2%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	1,9%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	5,6%	37,9%
Holz	0,0%	0,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	1,0%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,3%	1,1%
Wärmepumpe	1,9%	30,0%
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%**	**25,0%**
Wärmepumpe	1,9%	25,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	**2,2%**	**21,4%**
Öl	0,0%	0,0%
Gas	0,4%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	1,9%	21,4%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. E-Heizstab)	**9,0%**	**4,5%**
Strom	9,0%	4,5%

Tab. 107: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für Gewerbe-Gebäude 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%**	**43,2%**
Öl	1,4%	0,0%
Öl in Kombination mit Solarthermie	0,0%	0,0%
Gas	55,9%	0,0%
Gas in Kombination mit Solarthermie	4,1%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Fernwärme	5,6%	8,9%
Holz	0,0%	0,0%
Holz in Kombination mit Solarthermie	0,0%	1,0%
Strom in Kombination mit Solarthermie	0,2%	3,3%
Wärmepumpe	2,4%	30,0%
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%**	**25,0%**
Wärmepumpe	2,4%	25,0%
Solarthermie kombiniert mit Heizsystem	**2,4%**	**14,1%**
Öl	0,0%	0,0%
Gas	0,0%	0,0%
Kohle	0,0%	0,0%
Holz	0,0%	0,0%
Wärmepumpe	2,4%	14,1%
Solarthermie kombiniert mit andere (z.B. E-Heizstab)	**2,6%**	**1,3%**
Strom	2,6%	1,3%

Tab. 108: Angenommene zukünftige Energieträgerverteilung für 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%	0,0%
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. E-Heizstab)	**8,6%**	**4,3%**
Strom	8,6%	4,3%

16.3.6 Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs für das Szenario I&II, weitere Auswertungen:

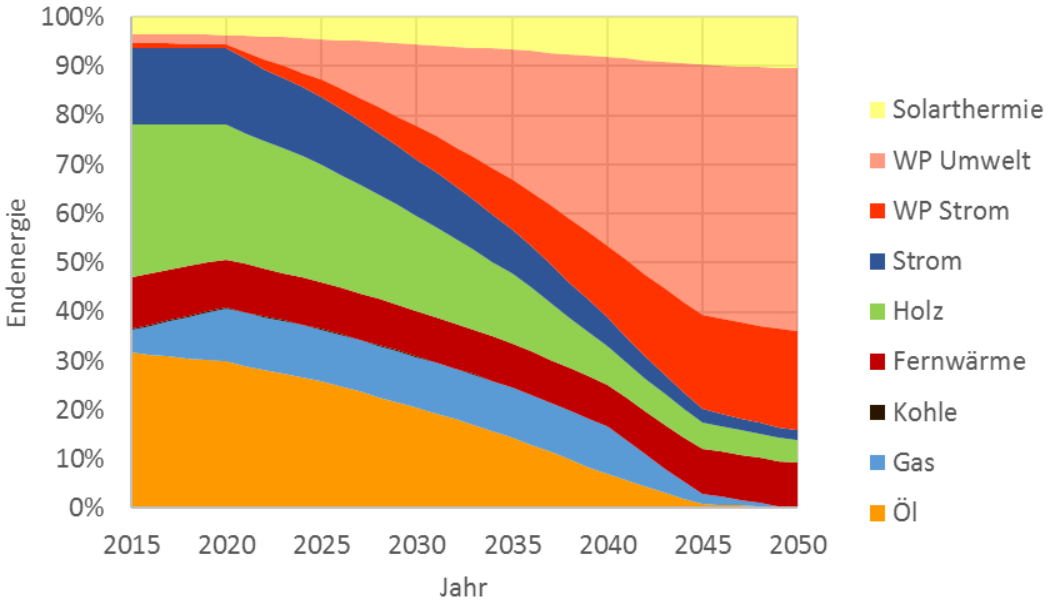


Abb. 54: Prozentuelle Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs für Wohngebäude beim Szenario I&II.

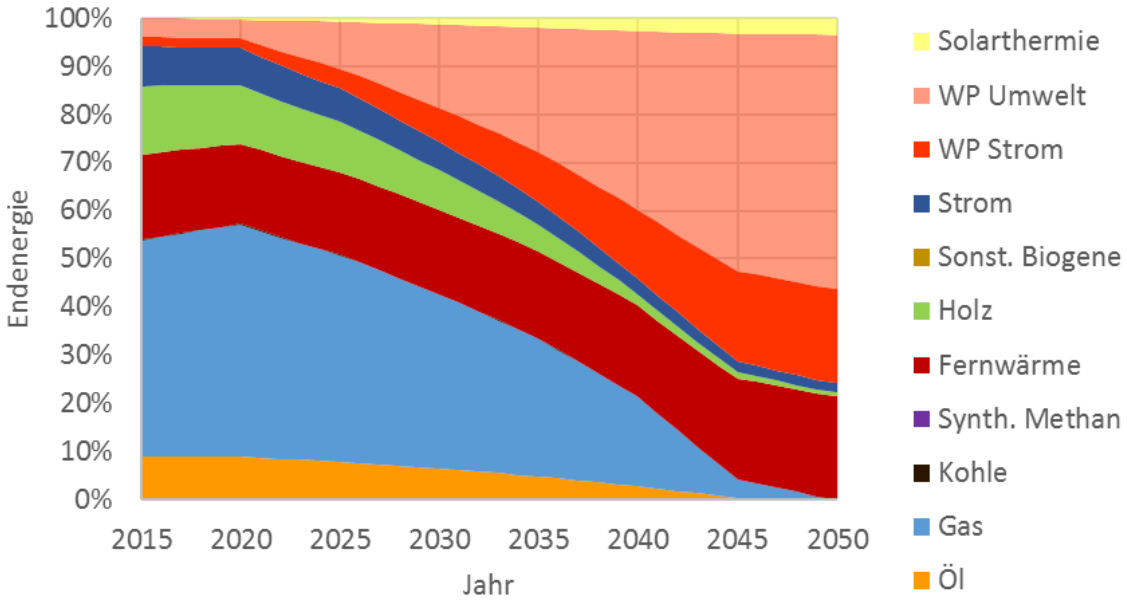


Abb. 55: Prozentuelle Entwicklung des Wärme-Endenergiebedarfs für Nicht-Wohngebäude (inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) beim Szenario I&II.

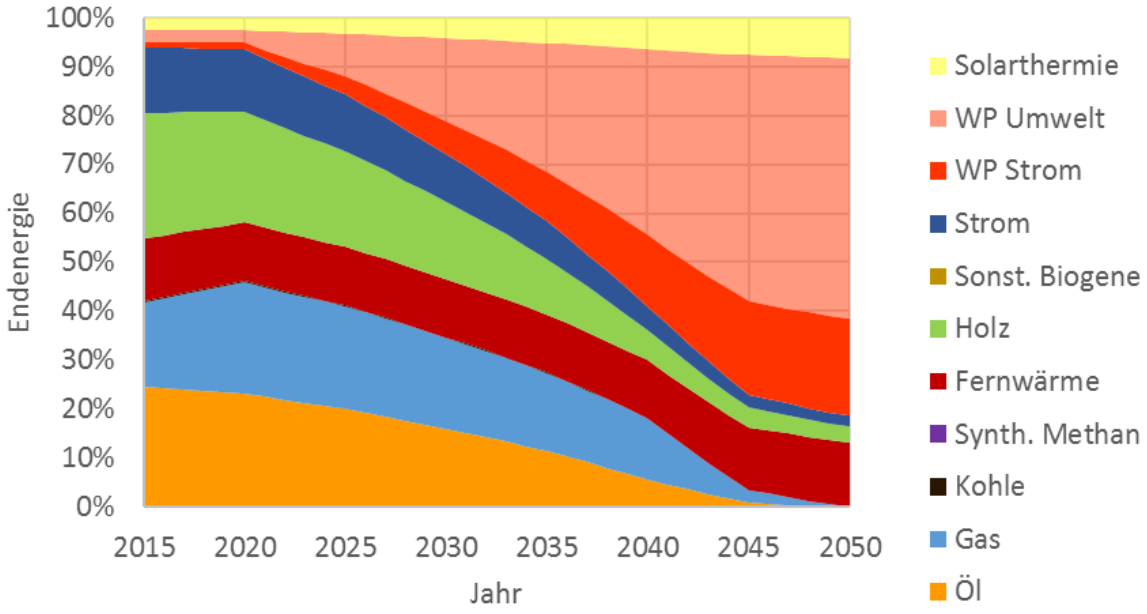


Abb. 56: Prozentuelle Entwicklung des Gesamt-Wärme-Endenergiebedarfs im Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) beim Szenario I&II.

Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs:

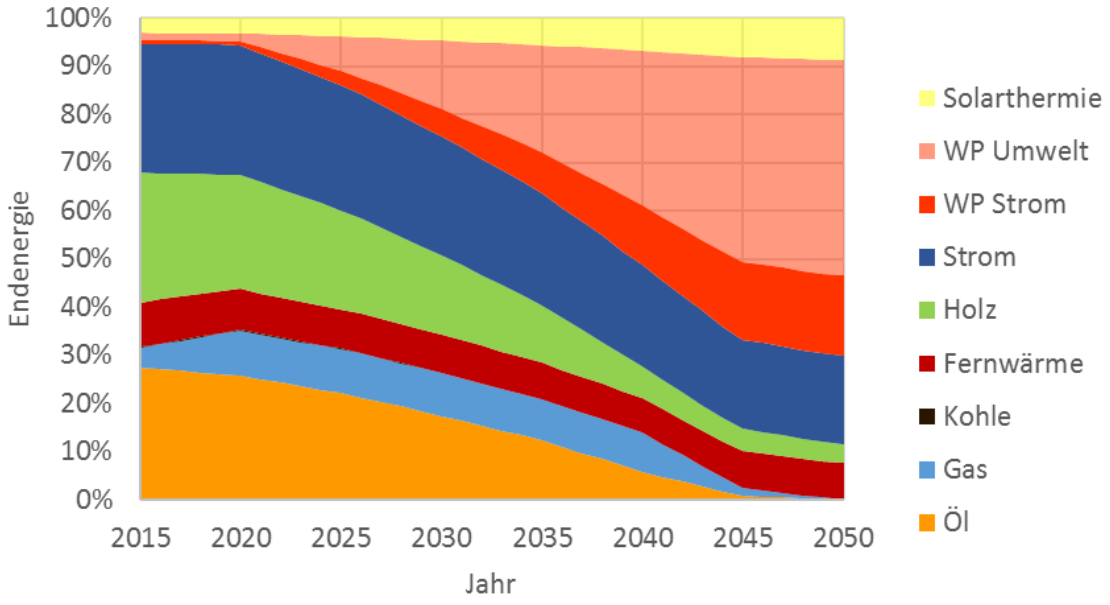


Abb. 57: Prozentuelle Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs für Wohngebäude beim Szenario I&II.

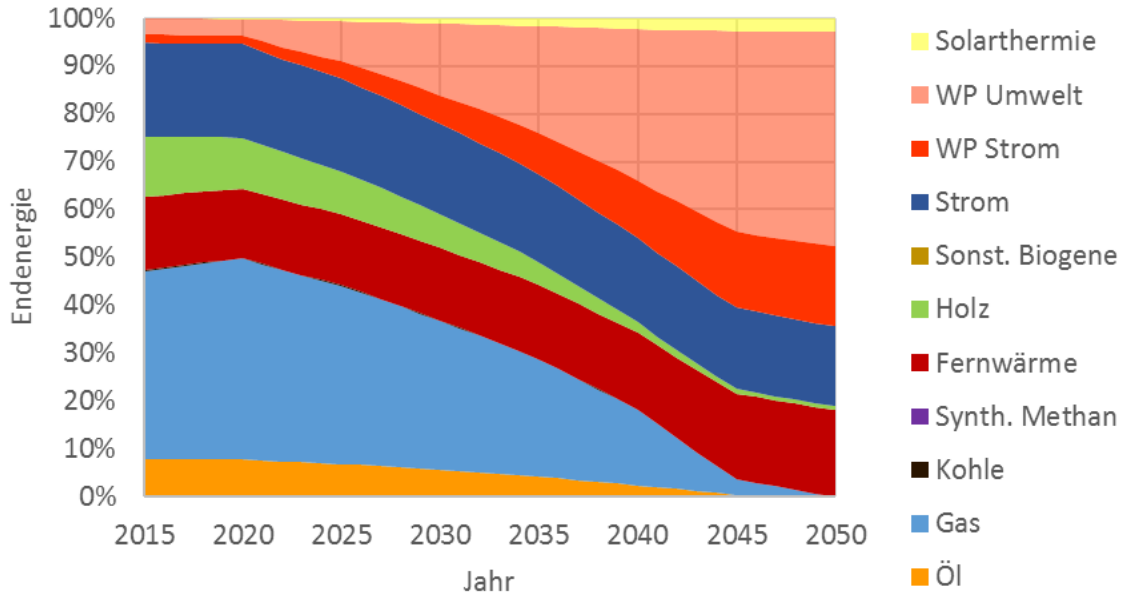


Abb. 58: Prozentuelle Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs für Nicht-Wohngebäude (inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) beim Szenario I&II.

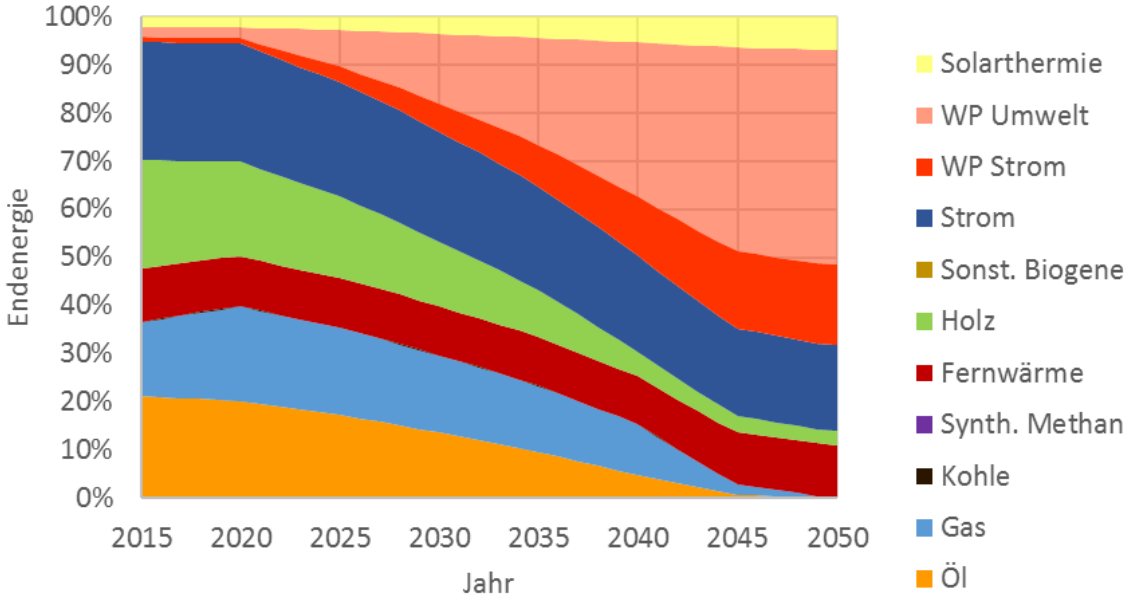


Abb. 59: Prozentuelle Entwicklung des Gesamt-Endenergiebedarfs im Gebäudebereich (Wohn- und Nichtwohngebäude inkl. Landwirtschaft, exkl. Industrie) beim Szenario I&II.

16.4 Detail-Flussbilder der Szenarien