



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna | Austria

Wärmezukunft 2050. Erfordernisse und Konsequenzen der Dekarbonisierung von Raumwärme und Warmwasserbereitstellung in Österreich

Endbericht

Autoren:

Lukas Kranzl, Andreas Müller, Iná Maia, Richard Büchele, Michael Hartner

Auftraggeber: Erneuerbare Energie Österreich

Projektdurchführung:

Technische Universität Wien, Energy Economics Group

Gusshaustr. 25-29, 1040 Wien

Jänner 2018

Revidierte Fassung

Seite 1, Abbildung 1 und Seite 50, Abbildung 30: Die Abbildungen wurden um die installierte Leistung von solarthermischen Anlagen und PV-Anlagen zur Wärmebereitstellung (anteilmäßig) ergänzt.

Seite 58, Abbildung 38 und Seite 61, Abbildung 40: Die Abbildungen wurden um den folgenden Absatz ergänzt:

** Strom, Fern- und Nahwärme: Die Abbildung zeigt den Primärenergieeinsatz zur Strom- und Fernwärmeerzeugung.

Kurzfassung

Die vorliegende Studie der Energy Economics Group der TU Wien analysiert, wie eine weitgehende Dekarbonisierung der Bereitstellung von Raumwärme in Österreich aussehen könnte. Diese Frage ist insofern von hoher Relevanz, als die Bereitstellung von Raumwärme rund ein Drittel des gesamten Energieeinsatzes in Österreich ausmacht und in etwa 20 % des heimischen CO₂ Ausstoßes verursacht. Im Unterschied zum Bereich der Stromerzeugung überwiegt im Wärmebereich die Nutzung fossiler Energie mit rund 60 % Anteil (inkl. dem Anteil fossiler Strom- und Fernwärmeerzeugung).

Die Studie beruht auf einem umfassenden Modell, das den gesamten Gebäudebestand in Österreich abbildet. Mit Hilfe einer mathematischen Simulation wurde berechnet, wie sich die Zusammensetzung der Technologien zur Bereitstellung von Raumwärme in Österreich im Zeitraum bis 2050 verändern müsste, um eine Dekarbonisierung zu erreichen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass bestehende Heizanlagen jeweils bis ans Ende ihrer Lebensdauer genutzt werden, dann aber durch technisch geeignete und ökonomisch für die Gebäudeeigentümer attraktive Anlagen ersetzt werden. Die unterstellten politischen Instrumente sind zunehmend so ausgelegt, um die Entscheidung der Gebäudeeigentümer in Richtung erneuerbarer Heizsysteme zu verlagern.

Weiters werden im Modell Maßnahmen angenommen, die zu einer sukzessiven Sanierung des bestehenden Gebäudebestandes führen, wodurch insgesamt im Zeitraum bis 2050 eine Halbierung des Energiebedarfs für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser erreicht wird. Dabei werden typische Sanierungszyklen und die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Maßnahmen berücksichtigt.

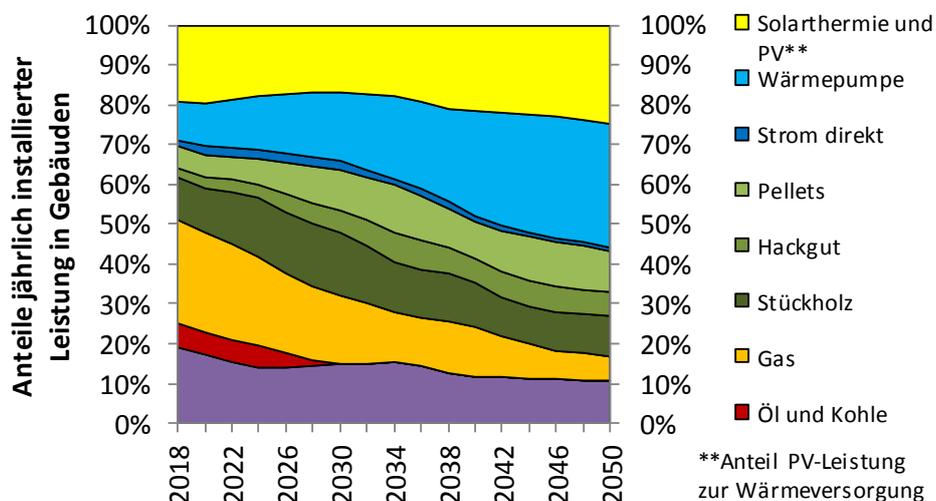


Abbildung 1. Anteil jährlich installierter Leistung an Heiz- und Warmwassersystemen in Österreich bis 2050

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis der Simulationsberechnung für die Anteile der jährlich installierten Leistungen von Heizanlagen im Gebäudebestand. Es kommt zu einer sukzessiven Veränderung der Technologien, die für die Raumwärmebereitstellung in Österreich genutzt werden. Während die Zahl der jährlich installierten Wärmepumpen und biogenen Heizanlagen stetig steigt, sinkt die Zahl der jährlich installierten Öl- und Gasheizungen. Die Zahl der neuen Fernwärmeanschlüsse ist leicht rückläufig aufgrund des begrenzten Potenzials für den Ausbau.

Durch den sukzessiven Tausch von Heizanlagen kommt es zu einer Verschiebung des gesamten Anlagenbestandes bzw. der so mit Wärme versorgten Gebäudeflächen, der in Abbildung 2 dargestellt wird.

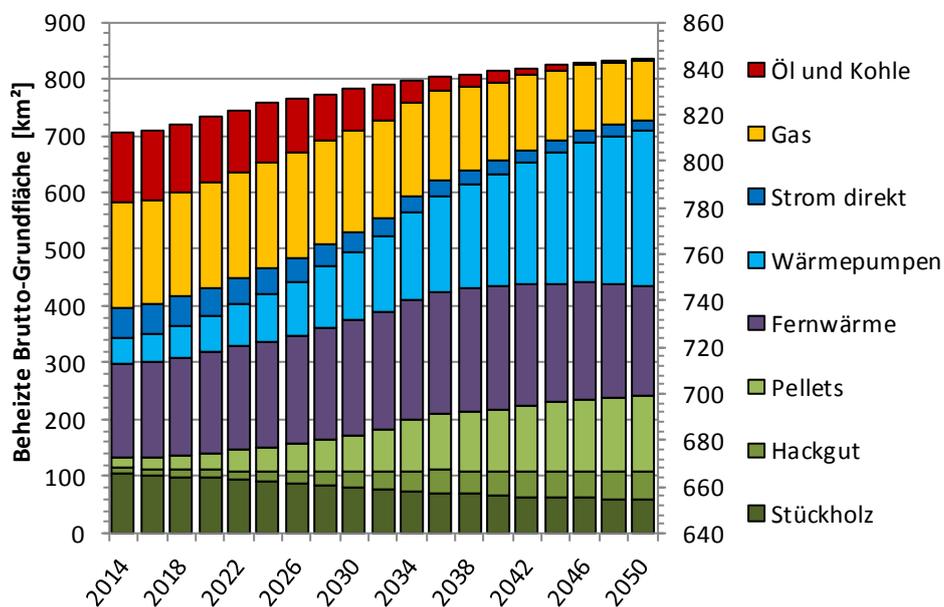


Abbildung 2. Entwicklung der beheizten Brutto-Grundflächen im Wärmewende-Szenario

Abbildung 2 zeigt, dass im Rahmen der getroffenen Annahmen ein weitgehender Ersatz fossiler Heizanlagen bis 2050 möglich ist. Bis zu diesem Zeitpunkt wird etwa ein Drittel der beheizten Gebäudegrundfläche durch Wärmepumpen versorgt sein. Danach folgen Gebäude, die mit Bioenergie und Fernwärme geheizt werden. Heizöl wird ab 2040 nicht mehr genutzt. Übrig bleibt ein Restbestand von circa 10 % der beheizten Gebäudefläche, die weiter mit Gas beheizt wird. Für eine vollständige Dekarbonisierung müsste dieser Restbedarf an gasförmigen Energieträgern mit „grünem Gas“, das aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird (Biogas, Wasserstoff) versorgt werden. In der Studie wird auf Basis bestehender Literatur aufgezeigt, dass für diesen verbleibenden Energiebedarf ein aus heutiger Sicht ausreichend großes Potential an Biomethan bzw. Wasserstoff vorhanden ist. Gleichzeitig zeigen Potentialabschätzungen auch auf, dass die Ressource Biomethan beschränkt ist und daher nicht beliebig große Energiemengen bereitstellen kann, auch

weil es zunehmend eine Konkurrenzsituation zwischen verschiedenen Sektoren um diese erneuerbaren Gas-Ressourcen geben wird.

Zentraler Bestandteil des Wärmewende-Szenarios, welches in der Studie berechnet wird, ist die thermische Sanierung des Gebäudebestandes. Abbildung 3 zeigt, wie sich der durch die Gebäudesanierung reduzierte Gesamtendenergiebedarf weiter entwickeln müsste, um das angestrebte Szenario zu realisieren.

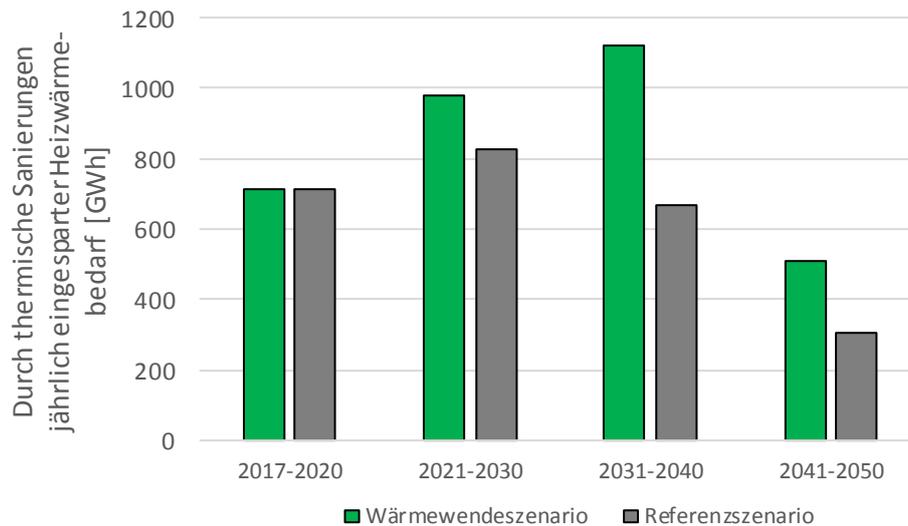


Abbildung 3. Jährliche Reduktion des österr. Nutzenergiebedarfs zur Raumwärmebereitstellung (Heizwärmebedarf, HWB) im Wärmewende-Szenario und im Referenzszenario

So müssten die aktuellen Sanierungsanstrengungen, die derzeit zu einer jährlichen Einsparung von rund 700 GWh führen in der Periode 2021 bis 2030 auf rund 1000 GWh pro Jahr gesteigert werden. Eine weitere Steigerung auf 1100 GWh müsste zwischen 2030 bis 2040 erzielt werden.

Aus der Veränderung der genutzten Heizungstechnologie und der sukzessiven Sanierung des Gebäudebestandes ergibt sich der Endenergie-Einsatz bis 2050 in Abbildung 4.

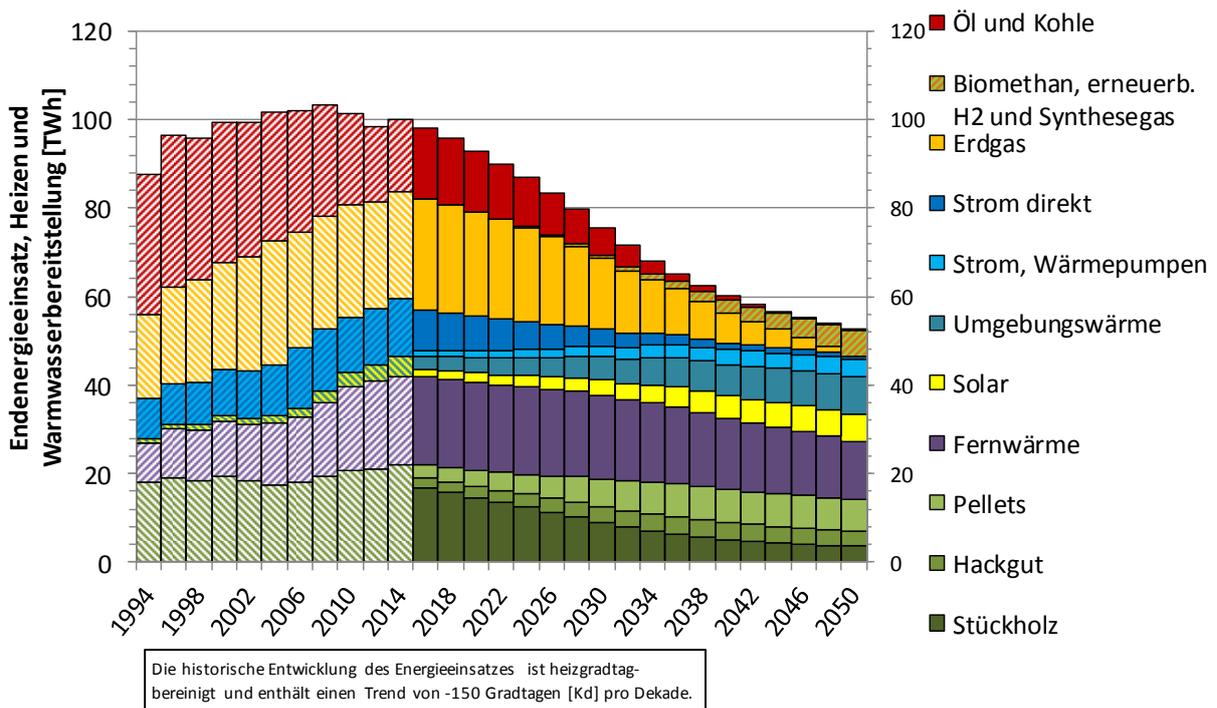


Abbildung 4. Entwicklung des Endenergieeinsatzes im Wärmewende-Szenario

Insgesamt sinkt der Endenergiebedarf in diesem Zeitraum etwa auf die Hälfte des heutigen Standes von ca. 100 TWh jährlich.

Interessant ist, dass trotz der angenommenen starken Steigerungen bei der Nutzung von Wärmepumpen der gesamte Stromeinsatz der Wärmeversorgung rückläufig ist. Dies ist Folge der Zurückdrängung von Stromdirektheizungen und der niedrigen Heizlast der Gebäude, in denen Wärmepumpen eingesetzt werden sollten - überwiegend neu errichtete Gebäude bzw. thermisch sanierte Bestandsgebäude. In ähnlicher Weise führt auch die beinahe Verdopplung der mit Biomasse beheizten Gebäudefläche aufgrund der sinkenden Heizlasten zu keiner Steigerung, sondern sogar zu einer leicht rückläufigen Nutzung von Holzbrennstoffen in Gebäuden.

Die Nutzung von Kohle und Heizöl läuft gegen 2040 aus. Erdgas wird kontinuierlich reduziert. Der geringe verbleibende Anteil wird sukzessive durch Biomethan und erneuerbares Synthesegas beziehungsweise Wasserstoff ersetzt. Trotz Zunahme der Nutzung von Fernwärme im Hinblick auf die beheizte Wohnfläche zeigt sich auch in diesem Bereich ein rückläufiger Energieeinsatz. Die Modellrechnungen ergeben auch eine deutliche Ausweitung der Nutzung von Solarenergie im Wärmemarkt, wobei hier die Summe aus Solarthermie und Fotovoltaik-Strom, der zur Wärmebereitstellung genutzt wird, dargestellt ist. Dabei erfolgt im Wärmewende-Szenario insbesondere die Warmwasserbereitstellung durch Solarenergie. Darüber hinaus wird in den Modellrechnungen auch in den verbleibenden Gebäuden, die weiterhin mit Gas versorgt werden ein erheblicher Teil des Raumwärmeenergiebedarfes durch Solarenergie bereitgestellt.

Da Wärmepumpen im Energiewendeszenario für den Wärmemarkt eine wichtige Rolle spielen, sei hier auf einige wichtige Aspekte verwiesen. Wie Abbildung 5 zeigt, hängt die Effizienz der Wärmepumpe wesentlich davon ab, welche Vorlauftemperaturen die betreffende Zentralheizung benötigt, um das Gebäude zu beheizen.

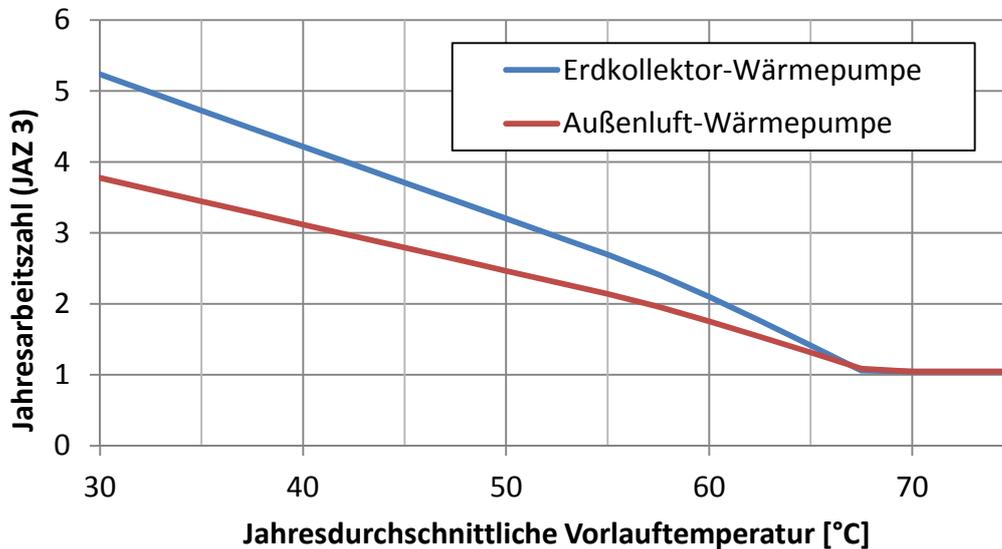


Abbildung 5. In den Berechnungen verwendeter Zusammenhang zwischen der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen und der durchschnittlichen Vorlauftemperatur des Wärmeverteilsystems

Wärmepumpen, die in unsanierten Objekten eingebaut werden und daher eine hohe Vorlauftemperatur benötigen, würden zu einem sehr hohen Stromverbrauch und hohen Leistungsspitzen führen. In den Modellläufen werden Wärmepumpen aber vorwiegend im Neubau bzw. thermisch sanierten Gebäudebestand mit Wärmeverteilsystemen, die auf niedrigem Temperaturniveau arbeiten (Flächenheizungen, Fußbodenheizungen, oder sehr großzügig dimensionierte Radiatoren), installiert. Die Modellergebnisse beruhen hier auf den Annahmen, dass a) im Neubau nahezu vollständig Flächenheizungssystem installiert werden, b) im Rahmen von thermischen Sanierungen auch eine Optimierung der Hydraulik der Wärmeverteilung vorgenommen wird und c) die Investoren über den Zusammenhang zwischen der Vorlauftemperatur und der Effizienz von Wärmepumpen Bescheid wissen, diesen Effekt aber deutlich (um 50 %) unterschätzen.

Zudem werden in den Modellläufen Strom-Direktheizungen weitgehend durch Wärmepumpen und andere Heizungssysteme ersetzt. Dazu ist angenommen, dass Gebäude die über kein zentrales Wärmeverteilsystem verfügen, ein solches im Rahmen einer umfassenden Gebäudesanierung installieren.

Unter diesen Voraussetzungen würde die elektrische Last zur Wärmebereitstellung gegenüber der heutigen Situation bis 2050 sogar deutlich abnehmen, wie Abbildung 6 zeigt.

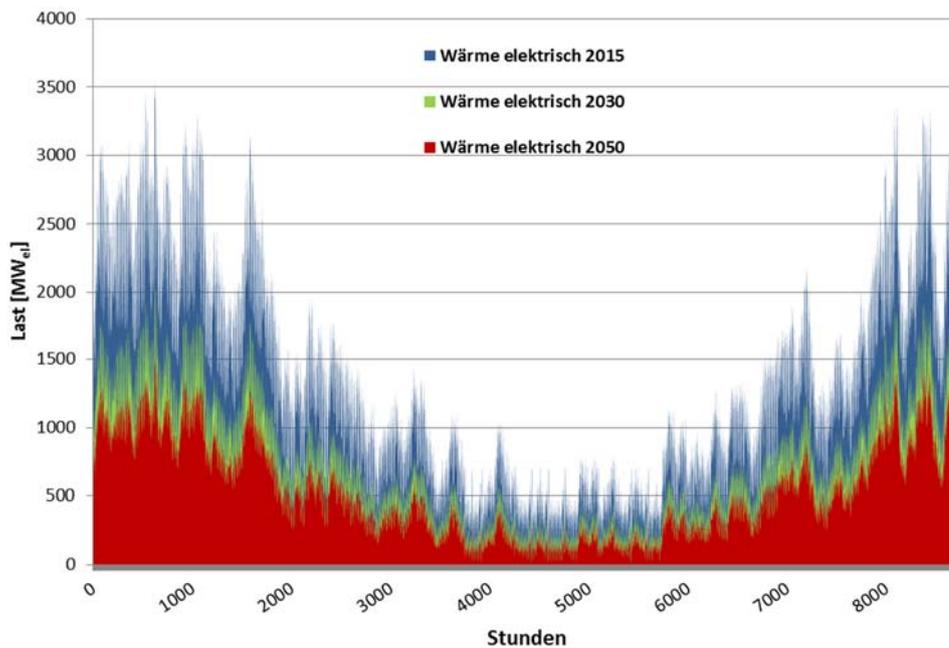


Abbildung 6. Strombedarf für die Wärmebereitstellung im Wärmewende-Szenario für die Jahre 2015, 2030 und 2050

Beide Annahmen, auf denen Abbildung 6 beruht, nämlich der effiziente Einsatz von Wärmepumpen und die Abkehr von der Strom-Direktheizung stehen teilweise im Kontrast zu aktuellen Entwicklungen wie der Nutzung von Wärmepumpen in unsanierten Gebäuden und der Verbauung von Strom-Direktheizungen.

Bei einer voranschreitenden Kopplung der Sektoren Wärme und Strom ist jedenfalls darauf zu achten, dass die Risiken einer mangelhaft begleitenden Umstellung berücksichtigt werden. Am Feld der Wärmepumpen führt eine mangelhaft ausgeführte Anwendung zu den oben genannten Effekten. Gleichzeitig hat diese Koppelung auch viele Vorteile die auch im Sinne einer Energiewende genutzt werden können. So kann die Verbindung von Wärmepumpen mit hohen Arbeitszahlen und einer geeigneten Bauausführung (etwa durch Nutzung von Speichern und/oder Trägheiten etwa im Sinne der Bauteilaktivierung) auch zu positiven Effekten für den Stromsektor führen. Dazu ist anzumerken, dass unabhängig von der Entwicklung der Stromnachfrage zur Wärmebereitstellung vor allem bei einem Durchbruch der E-Mobilität ein signifikanter Anstieg des gesamten Strombedarfs erwartet wird was allerdings nicht Gegenstand dieser Studie war.

Wirtschaftliche Implikationen

Die vorliegende Analyse berechnet auch die wirtschaftlichen Implikationen des Wärmewende-Szenarios. Den Aufwendungen für die Gebäudesanierung und für die Erneuerung des Heizungsbestands stehen verringerte Energiekosten gegenüber. Abbildung 7 zeigt, wie sich die jährlichen finanziellen Investitionen über den

betrachteten Zeitraum entwickeln müssten. Unterschieden wird dabei zwischen dem Aufwand für die energetische Sanierung der Gebäudehülle, sonstigen Instandhaltungsmaßnahmen die bei einer Sanierung üblicherweise auch umgesetzt werden sowie Investitionen in die Heizanlagen.

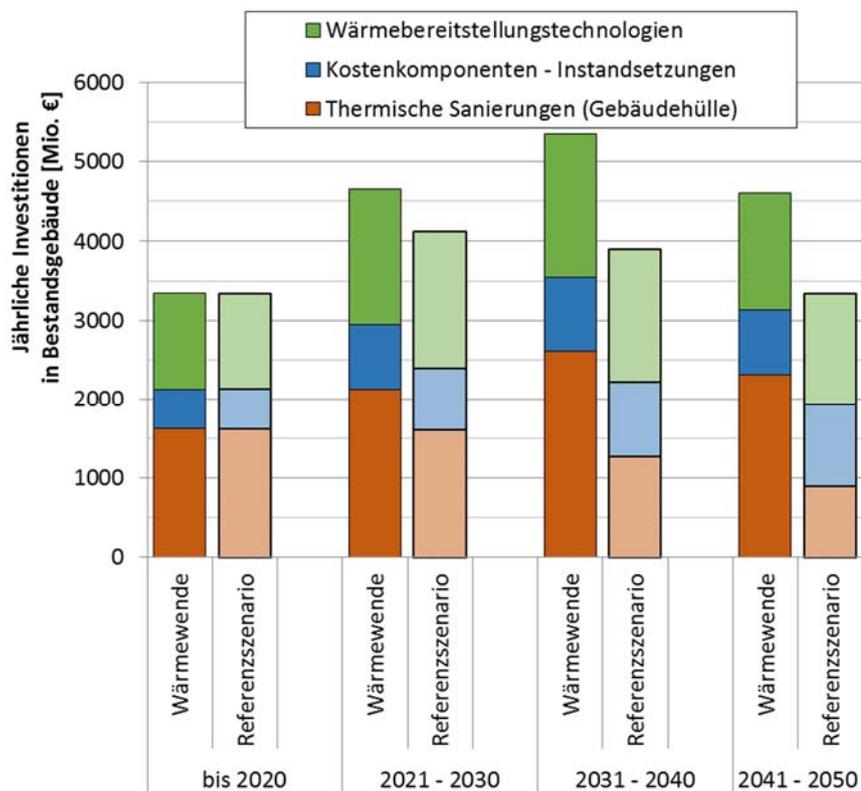


Abbildung 7. Investitionen in Bestandsgebäude

In Summe müsste nach dem Szenario die jährlichen Investitionen von heute rund 3 Milliarden € in der Periode 2021 bis 2030 auf rund 4,5 Milliarden € pro Jahr steigen. In der Periode 2030 bis 2040 müssten diese rund 5 Milliarden € erreichen, danach würden sie wieder absinken.

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Vergleich der Investitionskosten in die Haustechnik im Rahmen des Wärmewende-Szenarios mit den diesbezüglichen Kosten in einem Referenzszenario, das im Wesentlichen den Stand der derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen und energiepolitischen Instrumente abbildet. Auch in einem solchen Referenzszenario, in welchem davon ausgegangen wird, dass die Förderinstrumente weiterhin bestehen bleiben und die Vorschriften der Bauordnung und der OIB Richtlinie 6 in der Praxis weitgehend umgesetzt werden, erfolgt eine deutliche Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger und ein Rückgang der fossilen Endenergieträger (Öl, Kohle und Gas) um etwa 50 % sowie eine Reduktion des Endenergiebedarfes um knapp 40 %. Dennoch wird aus den Ergebnissen des Referenzszenarios klar, dass eine solche Entwicklung nicht in Einklang mit den

europäischen Zielen für 2030 oder mit den Zielen des Pariser Abkommens für 2050 gebracht werden kann.

Abbildung 8 zeigt die Differenz der Investitionen in Heizsysteme im Wärmewende-Szenario verglichen mit dem Referenzszenario. Minderausgaben für fossile Heizsysteme stehen Mehrausgaben für erneuerbare Heizsysteme gegenüber, die allerdings nicht substantiell höher sind. Dies liegt auch daran, dass die Heizlasten im Wärmewende-Szenario niedriger sind als im Referenzszenario.

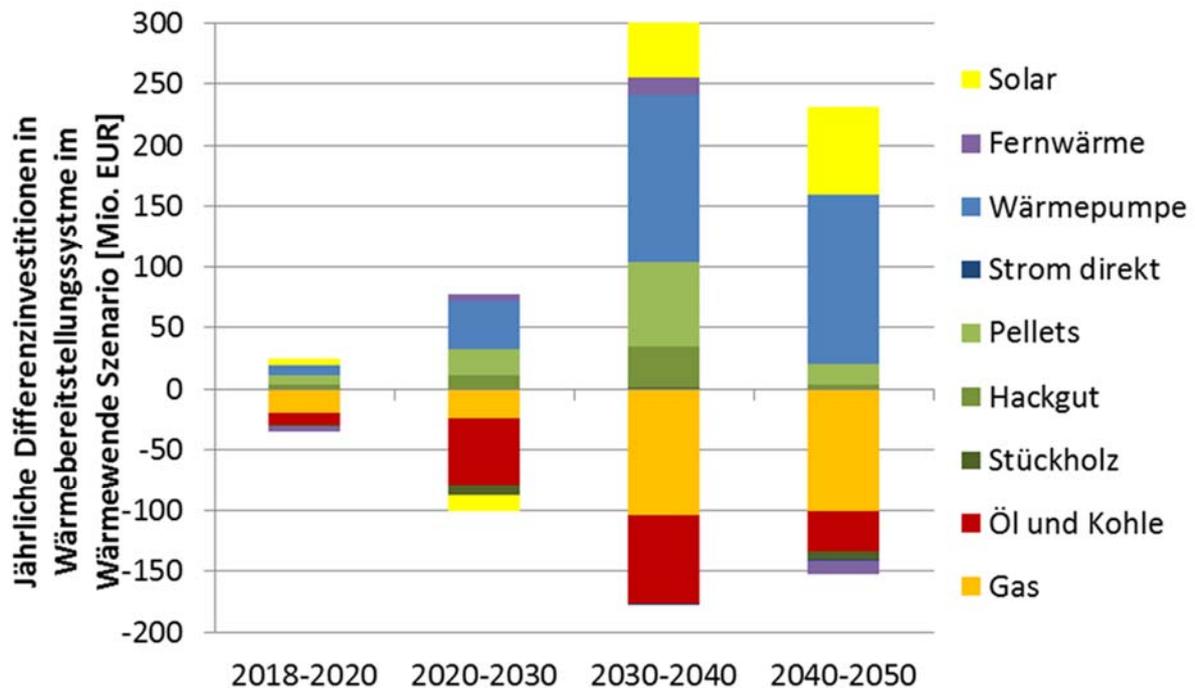


Abbildung 8. Jährliche Differenzinvestitionen in Wärmebereitstellungssysteme im Wärmewende-Szenario gegenüber Referenzszenario

Abbildung 9 zeigt, wie sich die Investitionen in die Wärmewende in den jährlichen Energiekosten für die Raumwärme niederschlagen.

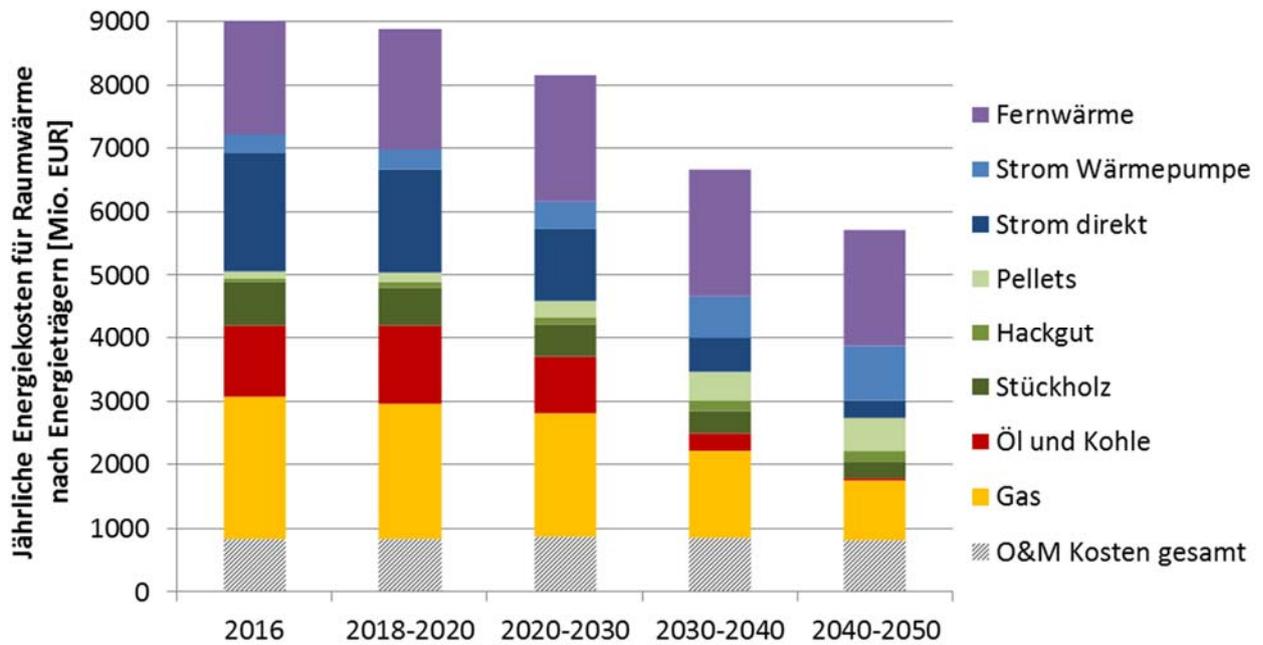


Abbildung 9. Jährliche Energiekosten der Heizsysteme im Wärmewende-Szenario

Im Zuge des Wärmewende-Szenarios sinken die Energiekosten für die Beheizung von Gebäuden von aktuell rund 9 Milliarden € jährlich auf unter 6 Milliarden € jährlich. Diese Ergebnisse sind freilich stark von den angenommenen Energiepreisen abhängig. Das verwendete Energie-Preis-Szenario beruht auf der Entwicklung der Energiepreise nach dem europäischen Referenzszenario (European Union, 2016), das von der Europäischen Kommission für Projektionen empfohlen wird (Abbildung 10).

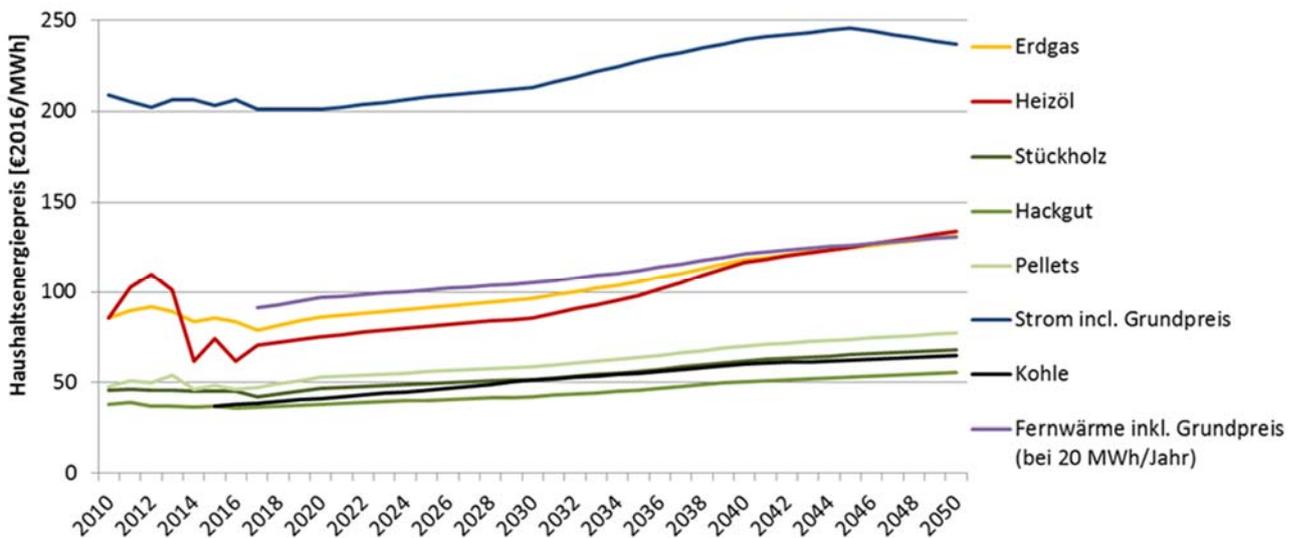


Abbildung 10. Angenommene jährliche Energiekosten der Heizsysteme (Empfehlung der EU Kommission)

Bewertet man die in diesem Zeitraum erforderlichen Investitionen in thermische Sanierungen und Wärmebereitstellungssysteme, und stellt sie den daraus erzielten Einsparungen gegenüber, zeigt sich das nachfolgende Bild.

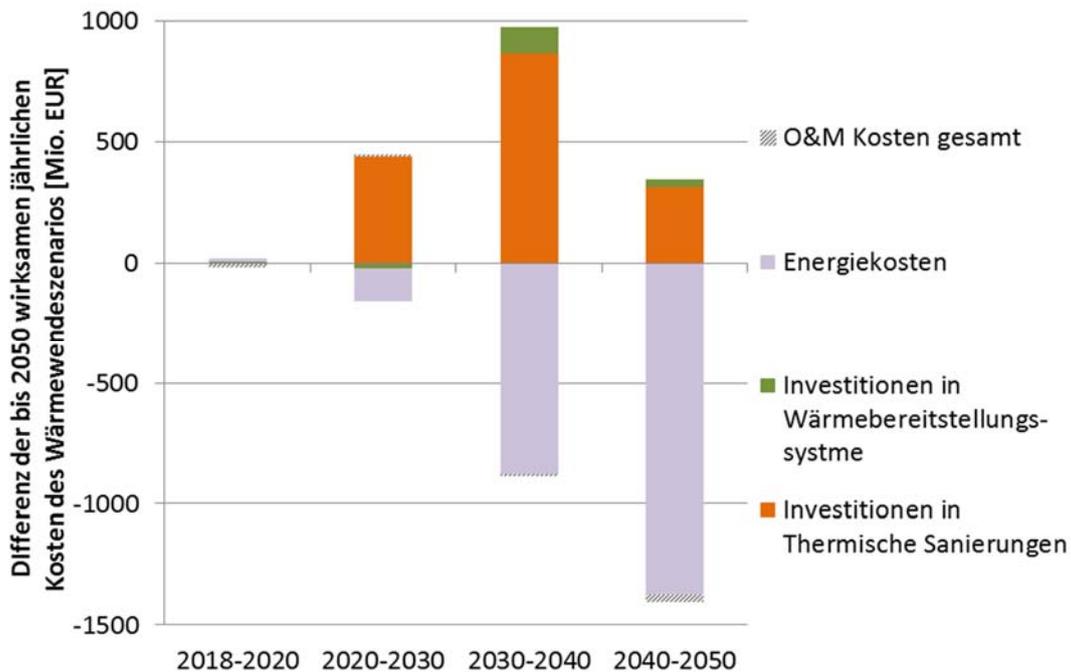


Abbildung 11. Differenzkosten zwischen Referenz- und Wärmewende-Szenario für die bis 2050 wirksamen Kosten

Insgesamt zeigt sich, dass das Wärmewende-Szenario sogar mit negativen Gesamtkosten realisiert werden kann.¹ Allerdings sind dafür zunächst höhere Investitionen notwendig, die langfristig aber durch reduzierte Energiekosten aufgewogen werden. Es wird darauf hingewiesen, dass die monetäre Bewertung des Szenarios bis zum Jahr 2050 einer Reihe an Unsicherheiten unterliegt. Dies betrifft insbesondere die tatsächliche Entwicklung der Energiepreise, Kosten für Sanierungen, energieeffizientem Neubau sowie mögliche Lerneffekte bei verschiedenen Technologien, die für diese Abschätzung konservativ angesetzt wurden.

Dabei sind eine Vielzahl vorteilhafter Nebeneffekte des Wärmewende-Szenarios wie die Reduktion der Energieimporte, geringere Preisschwankungen, Reduktion der Luftschadstoffe, signifikant verbesserter Wohnkomfort, die Effekte der nicht energetischen Sanierungsmaßnahmen und weitere positive indirekte Effekte nicht berücksichtigt. Das setzt jedoch voraus, dass die Erzeugung der eingesetzten

¹ Dafür wurde ein Zinssatz von 3% angenommen sowie eine gesamtwirtschaftlich relevante Abschreibedauer für Investitionen in Gebäudesanierung von 30 Jahren und in Heizsysteme von 20 Jahren.

Energieträger in Österreich forciert wird und nicht Importe politisch und/oder rechtlich begünstigt werden.

Auswirkungen der Wärmewende auf Arbeitsplätze

Zur Berechnung der primären Brutto-Beschäftigungseffekte in Vollzeitäquivalenten wurden die getätigten Inlandsinvestitionen in die erneuerbaren Energietechnologien zur Erreichung des Wärmewende-Szenarios herangezogen und mit einem konstanten durchschnittlichen Beschäftigungsfaktor für die Investition multipliziert. Dieser durchschnittliche Beschäftigungsfaktor inkludiert bereits die gesamte Wertschöpfungskette der jeweiligen Technologie von der Produktion über den Handel bis zur Installation (Biermayr et al, 2017) und Branchendaten der Statistik Austria (Statistik Austria, 2015). Arbeitsplätze durch im Ausland getätigte Investitionen (Export) werden hier nicht berücksichtigt, aber durch die Verwendung eines konstanten Beschäftigungsfaktors wird davon ausgegangen, dass sich die Anteile der Wertschöpfungskette (Export vs. Handel vs. Installation) nicht verändern. Weiters wird darauf hingewiesen, dass für eine Abschätzung von langfristigen Netto-Arbeitsplatzeffekten weitere Analysen notwendig sind.

Die zusätzlichen Investitionen in thermische Sanierungen sowie der Umstieg von fossilen Heizsystemen auf Erneuerbare, führen demnach zu steigenden Beschäftigungszahlen in diesen Branchen von insgesamt fast ca. 27 000 in der Periode bis 2020 auf über 40 000 in der Periode 2030-2040 und etwa 37 000 in der Periode 2040-2050. Das bedeutet einen jährlichen Beschäftigungszuwachs von 2,5 % zwischen 2020 und 2030 und von 2,4 % zwischen 2030 und 2040.

Politische Maßnahmen zur Umsetzung der Energiewende beim Heizen

Um die Energiewende beim Heizen in Gang zu setzen, müssen drei Arten von Maßnahmenbündeln ineinandergreifen:

- Regulatorische (ordnungspolitische) Maßnahmen: diese setzen die Rahmenbedingungen so, dass Unternehmen und Einzelhaushalte die notwendigen Entscheidungen treffen, um fossile Energieträger zurückzudrängen und die Erneuerung der Heizanlagen zu beschleunigen.
- Wirtschaftliche Maßnahmen: diese verstärken wirtschaftliche Anreize zugunsten der Nutzung erneuerbarer Energie.
- Maßnahmen, um die Motivation und das Wissen der Bürger zu verbessern, sei es durch Beratung, Informationskampagnen oder im Zuge der schulischen und beruflichen Ausbildung.

Diese Maßnahmen müssen gemeinsam und synchron wirken. Begleitend muss deren Qualität laufend überprüft, gesichert und allenfalls angepasst werden.

Regulatorische (ordnungspolitische) Maßnahmen

Einzelne ordnungspolitische Maßnahmen sind im Zusammenhang mit der Energiewende beim Heizen bereits realisiert worden.

- Die schärfste ordnungspolitische Maßnahme ist das Verbot der Nutzung fossiler Heizsysteme oder fossiler Energieträger. In Norwegen etwa ist es ab 1.1.2020 verboten, Heizöl aus fossilen Energieträgern (Mineralöl) zu verkaufen – Heizöl aus biogenen Quellen hingegen bleibt erlaubt (z.B. Rapsmethylester). In Niederösterreich wurde ein Verbot der Errichtung von Ölheizungen in Neubauten verordnet.
- Sanierungsfahrpläne würden sowohl als Informations- und Beratungsinstrument eine wichtige Rolle spielen, als auch könnten sie Ausgangspunkt für eine ordnungspolitische Maßnahme bei besonders ineffizienten Gebäuden sein.
- Um das Wärmewende-Szenario ab 2021 zu erreichen, wird laut Modellrechnungen eine weitere Überprüfung und Revision der Effizienzstandards in den Bauordnungen erforderlich sein. Die Bauordnung sieht ein Set an verschiedenen Grenzwerten zur Einsparung von Energie und von Treibhausgasemissionen vor. Es wird entscheidend sein, diese Grenzwerte kontinuierlich anzupassen und beispielsweise für CO₂-Emissions-Grenzwerte eine Absenkung zu prüfen. Wesentlich ist, die zulässigen Emissionen so zu wählen, dass das Ziel einer weitgehenden Dekarbonisierung des Wärmemarktes erreicht wird, wobei gleichzeitig Technologieoffenheit – aber nicht Energieträgeroffenheit! – gewährleistet bleibt.

Die Dekarbonisierung des Gebäudebestandes: Während der Neubau auf diese Weise vergleichsweise einfach beeinflusst werden kann, sind Änderungen im Gebäudebestand eine größere Herausforderung. Besonders die auffällige Überalterung bestehender Heizsysteme behindert die Wärmewende. So sind beispielsweise rund 85 % der bestehenden Ölheizungen über 15 Jahre alt, sogar über 50 Jahre alte Anlagen werden noch betrieben. Auch jahrzehntealte sogenannte „Allesbrenner“ für feste Brennstoffe sind noch weit verbreitet.

Überalterte Heizanlagen sind wegen deren niedriger Effizienz und ihren hohen gesundheitsschädlichen Emissionen problematisch. In Deutschland wurde aus diesem Grund gesetzlich verordnet, über 30 Jahre alte Zentralheizungskessel außer Betrieb zu nehmen. Die Reinvestition in veraltete Technologie aufgrund fehlender Anreize oder Signale wäre ein problematischer Effekt da das zu einer Fortsetzung der Nutzung von fossilen Strukturen führt die dann langfristig zur Belastung des Energiesystems werden („Lock-in“ Effekt).

- Seit Jahrzehnten werden die Emissionen von KFZ im Rahmen der §57a Überprüfung (des „Pickerls“) regelmäßig und selbstverständlich überprüft, die Emissionen und die Effizienz von Heizsystemen jedoch nicht oder nur lückenhaft. Dadurch ergeben sich auch für die Nutzer Nachteile etwa über zu hohe Heizkosten oder erhebliche gesundheitliche Belastung. Ein „Heizungspickerl“, welches über eine Überarbeitung der Vereinbarung nach §15a BVG zwischen Bund und Ländern über die wiederkehrende Überprüfung von Heizanlagen eingeführt werden könnte, würde den Kunden bestehende Mängel und Ineffizienzen ihrer Heizsysteme vor Augen führen und Empfehlungen oder Verpflichtungen für die Umsetzung von Verbesserungs- oder Sanierungsmaßnahmen beinhalten. Dabei ist selbstverständlich darauf zu achten, dass ausreichende Fristen gewährt werden und Haushalte mit geringem Einkommen nicht belastet werden.
- Die Verpflichtung zur Erstellung eines Energieausweises war ein wichtiger Schritt, um den energetischen Zustand der Gebäudehülle und thermische Mängel eines Objekts bewusst zu machen. Im Rahmen des EU Projekts iBROAD2 wird aktuell untersucht, ob die Erstellung von individuellen Sanierungsplänen ebenfalls eine Maßnahme wäre, die einen wertvollen Impuls in Richtung Sanierung geben könnte. Diese könnten eventuell auch auf dem Energieausweis aufbauen.

Jedenfalls müssen die Einsparungen durch die Sanierung von Gebäuden von derzeit rund 700 GWh auf zumindest 1.000 GWh pro Jahr gesteigert werden. Bestehende Instrumente wie die Wohnbauförderung oder das Energieeffizienzgesetz könnten dieses Ziel unterstützen.

Um die Rolle leitungsgebundener Energieträger zur Wärmeversorgung in gesamtwirtschaftlich effizienter Weise sicherzustellen, sind Maßnahmen im Bereich der Energieräumordnung in zunehmendem Maße entscheidend. Berücksichtigt muss hier auch werden, dass Gasleitungen teilweise rückgebaut werden müssen. Insofern ist auch der Neubau von Gasleitungen unter den Gesichtspunkten technologischer Sackgassen und langfristig hoher Rückbaukosten zu sehen.

- Der Fernwärme kommt insbesondere in Regionen mit hoher Wärmedichte eine wichtige Rolle zu, was durch Energieräumordnung auch weiter forciert werden sollte. Die Weiterentwicklung und Anpassung in Richtung erneuerbarer Energieerzeugung, des Temperaturniveaus, der Flexibilität und der Kopplung mit dem Stromsektor sind zentrale Herausforderungen des Fernwärmesektors im Wärmewende-Szenario.

² <http://ibroad-project.eu/>

Maßnahmen zur wirtschaftlichen Anreizung

Wirtschaftliche Anreize zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energie zur Wärmeversorgung sind unter anderem deshalb erforderlich, weil die tatsächlichen Kosten fossiler Energieträger oft nicht vollständig in den Marktpreisen abgebildet. Zu den externen Kosten der Nutzung fossiler Energieträger existiert eine Vielzahl von Analysen, die alle zu dem Schluss kommen, dass diese erheblich sind. Abgesehen von nicht internalisierten Kosten gibt es in vielen Ländern versteckte und offene Subventionen für fossile und nukleare Energietechnologien, die einer Energie- und Wärmewende entgegenstehen. Der durch fossile Energieträger verursachte Treibhauseffekt zeitigt enorme gesellschaftliche Kosten. Durch die entsprechende Besteuerung von Energieträgern in Abhängigkeit von den jeweiligen CO₂ Emissionen können die externen Kosten internalisiert werden. Immer mehr Länder passen ihr Steuersystem auf diese Weise an.

Nachdem man sich in Österreich zu diesem Schritt bislang nicht entschließen konnte, wurden schon in der Vergangenheit – zum Teil mit gutem Erfolg – Förderungen dazu eingesetzt, um die verstärkte Nutzung von erneuerbarer Energie zu ermöglichen. Dies ist insbesondere deshalb von Bedeutung, weil erneuerbare Energiesysteme meistens durch höhere Investitionskosten und niedrigere laufende Kosten charakterisiert sind und somit die Anfangsbarriere für den Umstieg hoch ist. Es hat sich allerdings in den vergangenen Jahren gezeigt, dass selbst außerordentlich hohe Förderungen ohne einen gleichzeitigen Preisdruck bei fossilen Heizanlagen keinen nennenswerten Umstieg auslösen. Aus Sicht der Energieträgerbesteuerung ist im Wärmebereich die Besteuerung von Heizöl hervor zu heben. Obwohl Heizöl der gleiche Stoff ist wie Diesel – sogenanntes Mitteldestillat – beträgt die MÖSt. auf Heizöl Extraleicht mit 9,8 cent/l nur ein Viertel der MÖSt. auf Diesel von 39,7 cent/l.

Über direkte Kosteneffekte hinaus stellt eine hohe Nutzung fossiler Energieträger auch eine gewisse Abhängigkeit von Lieferländern und einen Wertschöpfungsverlust im Inland dar. Die Nutzung von modernen Heizsystemen (Biomasse, Wärmepumpen, Solarthermie) im Inland kann auch zu mehr Technologieentwicklung im Inland beitragen was als positiver Effekt einer Wärmewende betrachtet werden kann.

Auch die thermische Sanierung von Gebäuden geht angesichts niedriger Kosten fossiler Energieträger – aber auch aufgrund der hohen notwendigen Investitionen – langsamer voran, als das die Energiewende beim Heizen erforderlich macht. Finanzielle Anreize können auch hier einerseits durch Abbau kontraproduktiver Steuervorteile, durch eine generelle CO₂ Steuer oder durch entsprechende Förderungen gesetzt werden.

Mit der Wohnbauförderung stehen grundsätzlich ausreichend finanzielle Mittel für die Umsetzung der hier vorgeschlagenen Sanierungsszenarien zur Verfügung – diese werden aber vielfach zweckentfremdet genutzt.

Für einige Haushalte in Österreich ist eine Investition in ein neues Heizsystem aus wirtschaftlichen Gründen unmöglich. Die Bedürfnisse dieser von Energiearmut betroffenen Haushalte müssen speziell adressiert und gelöst werden: Energiearmut ist primär ein soziales Problem und darf nicht als Vorwand dafür missbraucht werden, die Energiewende zu verzögern. Mittel die durch eine adäquate Heizölbesteuerung und/oder CO₂ berücksichtigende Abgaben (etwa eine CO₂ Steuer) aufgebracht werden, können solchen Haushalten direkt und zweckgebunden zugeführt werden.

Bewusstseinsbildende- und Informationsmaßnahmen

Haushalte verfügen in der Regel über keine Möglichkeit, die Qualität und Effizienz ihrer Heizanlage zu beurteilen. Solange diese funktioniert, scheint alles in Ordnung zu sein. Auch ist ihnen meistens die dominante Rolle der Heizung für ihre Energiekosten nicht bewusst. Das Bewusstsein für die Bedeutung der Heizung ist deshalb eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Energiewende im Wärmebereich. Weil einzelne Interessensgruppierungen unterschiedliche und vielfach einander widersprechende Informationen verbreiten, ist die korrekte Information der Verbraucher entscheidend. Das gilt auch für die thermische Sanierung. Konsumenten sind unkorrekten Informationen bis hin zur „Dämmlüge“ und der „Klimafreundlichkeit der Ölheizung“ ausgesetzt und deshalb verunsichert. Informationskampagnen und qualifizierte Beratung sind unabdingbare Voraussetzungen für das Gelingen der Energiewende.

Darüber hinaus sollte das Thema der energieeffizienten und CO₂ neutralen Energie- und Wärmeversorgung als wesentliches Zukunftsthema auch in die Lehrpläne von Schulen Eingang finden. Dies gilt auch für alle relevanten beruflichen Aus- und Weiterbildungsangebote.

Qualitätssicherung

Die Energiewende beim Heizen umzusetzen bedeutet, neue Technologien breit einzusetzen, deren Funktionalität und Effizienz wesentlich von ihrer korrekten Planung und Installation abhängt. Schon die Frage, welches System sich für welches Gebäude eignet, erfordert qualifizierte Analyse und Beratung. Parallel zur Umsetzung von Maßnahmen, die die Energiewende beim Heizen in Gang bringen, muss daher ein sorgfältig konzipiertes Qualitätssicherungsprogramm umgesetzt werden. Dieses soll sicherstellen, dass die Ziele hoher Effizienz und Umweltfreundlichkeit auch tatsächlich erreicht werden und dass Kunden, die ihr Heizsystem ausgetauscht oder ihr Haus saniert haben, zufrieden sind. Wie schon in anderen Bereiche erfolgreich demonstriert

(z.B. Programm QM Heizwerke), sind Qualitätssicherungsprogramme dann besonders erfolgreich, wenn sie als Voraussetzung für den Empfang von Förderungen etabliert werden. Qualitätssicherung betrifft aber nicht nur die technische Umsetzung von Anlagen, sondern auch alle vorgeschlagenen politischen Maßnahmen.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
1 Einleitung	20
1.1 Fragestellungen	20
1.2 Struktur des Berichts.....	21
2 Wärmewende-Szenario: Energieträger-Mix und CO₂-Reduktionen und technologische Maßnahmen.....	22
2.1 Grundlagen, Methodik und Charakterisierung des Szenarios	22
2.1.1 Methodik	22
2.1.2 Heizgradtage.....	22
2.1.3 IG-L Sanierungsgebiete	25
2.1.4 Verfügbarkeit von gasförmigen, leitungsgebundenen Energieträger	27
2.1.5 Wärmebedarfsdichten	28
2.1.6 Charakterisierung des Wärmewende-Szenarios	33
2.1.6.1 Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen und Energiepreise im Wärmewende-Szenarios.....	34
2.1.6.2 Energiepolitische Rahmenbedingen, Förderungen und thermische Sanierungen.....	34
2.2 Österreichische Entwicklung	40
2.2.1 Energieträger nach Haushalten	40
2.2.2 Historischer Kesselmarkt und zukünftige Entwicklung der installierten Leistung nach Energieträgergruppen.....	42
2.2.3 Entwicklung des Energieträgereinsatzes in Haushalten und der damit versorgten Flächen.....	50
2.2.4 Entwicklung der versorgten Gebäudeflächen und des Endenergieträgereinsatzes im österreichischen Gebäudebestand	53
2.2.5 Entwicklung des Primärenergieeinsatzes und der CO ₂ -Emissionen im Wärmewende-Szenario	58
2.3 Bundesländerergebnisse	66
2.3.1 Burgenland.....	66
2.3.2 Kärnten	67
2.3.3 Niederösterreich.....	69
2.3.4 Oberösterreich	70
2.3.5 Salzburg.....	72
2.3.6 Steiermark.....	73

2.3.7	Tirol	75
2.3.8	Vorarlberg	76
2.3.9	Wien.....	78
3	Ökonomische Implikationen des Wärmewende-Szenarios	80
3.1	Thermische Sanierungsrate	80
3.2	Investitionen in Bestandsgebäude	82
3.3	Investitionen in Wärmebereitstellungssysteme	85
3.4	Heizkostensparnis.....	87
3.5	Bis 2050 wirksame Gesamtkosten der Wärmewende.....	90
3.6	Arbeitsplatzeffekte.....	92
4	Sektorkopplung und die Rolle von Wärmepumpen	94
4.1	Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen.....	95
4.1.1	Definition der Systemgrenzen	96
4.1.2	Der Einfluss von Vorlauftemperaturen auf Arbeitszahlen von Wärmepumpen	97
4.1.3	Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen im österreichischen Gebäudebestand	99
4.2	Elektrische Lasten für Power to Heat bis zum Jahr 2050.....	103
4.2.1	Entwicklung des Strombedarfs für Wärme und Kälte des österreichischen Gebäudesektors im Wärmewende-Szenario:..	106
4.2.2	Stündliche Lasten des Strombedarfs für Power to Heat in Österreich	108
4.3	Auswirkungen auf das Stromsystem	112
4.4	Die Rolle der Wärmepumpen in Dekarbonisierungsszenarien...	115
4.5	Die Rolle der Flexibilität von Wärmepumpen	120
4.6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen zur Sektorkopplung	126
5	Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heiz- und Warmwassersystemen	128
5.1	Auswahl und Beschreibung der Referenzgebäude	129
5.2	Ökonomische Rahmenbedingungen und Eingangsdaten	133
5.3	Ergebnisse und Parametervariation.....	136
5.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen aus der Heizkostenanalyse	141
6	Diskussion politischer Instrumente, Schlussfolgerungen und Ausblick,	143
6.1	Informations-, Beratungs- und Qualitätsoffensive, F&E	145

6.2	Wirtschaftliche Begleitmaßnahmen.....	147
6.3	Regulatorische Instrumente	148
6.4	Strategische Wärme- und Kälteplanung.....	150
7	Literaturverzeichnis.....	152
8	Abbildungsverzeichnis.....	155
9	Tabellenverzeichnis.....	165
A.	Anhang – Bundesländer-Detailergebnisse	167
A.1.1	Burgenland.....	167
A.1.2	Kärnten	170
A.1.3	Niederösterreich.....	173
A.1.4	Oberösterreich	176
A.1.5	Salzburg.....	179
A.1.6	Steiermark.....	182
A.1.7	Tirol	185
A.1.8	Vorarlberg	188
A.1.9	Wien.....	191

1 Einleitung

Mit der Studie „Die Stromzukunft Österreich 2030 – Analyse der Erfordernisse und Konsequenzen eines ambitionierten Ausbaus erneuerbarer Energien“ wurde dargestellt, wie die Transformation zu einem nahezu ausschließlich auf erneuerbarer Energie beruhenden Elektrizitätssystem in Österreich aus technischer und ökonomischer Sicht funktionieren kann.

Im Rahmen dieser Studie wurden die Erfordernisse und Konsequenzen einer umfassenden Wärmewende in Richtung einer vollständigen erneuerbaren Deckung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs analysiert. Dazu wurden technische, ökonomische sowie energie- und klimapolitische Indikatoren der Wärmewende ermittelt und dargestellt.

Die Analysen basieren auf dem „Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050“³, das vom Umweltbundesamt im Auftrag der erneuerbaren Verbände erstellt wurde, der Studie Stromzukunft 2030 bzw. dem Transition-Szenario aus den Energie-Szenarien 2017⁴.

Im November 2017 wurde mit der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heizsystemen der erste Teilbericht vorgelegt. Mit diesem 2. Teilbericht erfolgt die Darstellung und detaillierte Auswertung eines Szenarios zur Dekarbonisierung des Raumwärme- und Warmwassersektors.

1.1 Fragestellungen

Kern des vorliegenden Berichts ist die Entwicklung, Darstellung und Analyse eines Wärmewende-Szenarios, das das Ziel einer weitestgehenden Dekarbonisierung der Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung in Österreich bis zum Jahr 2050 erreicht.

Für dieses Szenario wurden folgende Fragestellungen jeweils mit Fokus auf die Periode bis 2030 und 2050 beantwortet:

- Wie verändert sich der Mix an Heizsystemen sowie des End- und Primärenergiemix? Welche regionalen Unterschiede ergeben sich dabei in der Energieträgerverteilung?

³ Krutzler, T., Wiesenberger, H., Heller, C., Gössl, M., Stranner, G., Storch, A., Heinfellner, H., Winter, R., Kellner, M., Schindler, I., 2016. Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050 (No. REP-0576). Umweltbundesamt, Wien.

⁴ Müller, A., Fritz, S., Kranzl, L., 2017. Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher, TU Wien, Energy Economics Group, Wien, Noch unveröffentlicht.

- Welche Kesseltauschraten sind notwendig um die Ziele des Wärmewende-Szenarios zu erreichen? Wie verteilen sich die installierten Heizsysteme auf die verschiedenen Technologien?
- Welche thermischen Sanierungsraten sind erforderlich, um die angestrebten Energieeinsparungen zu erzielen?
- Welche Investitionen in thermische Gebäudesanierung und Heizsysteme sind notwendig? Wie verhält sich der Mehraufwand an Investitionen im Vergleich zu einem Referenz-Szenario?
- Wie entwickeln sich die laufenden Heizkosten und wie stellen sich diese im Vergleich zu den erforderlichen zusätzlichen Investitionen dar?
- Darüber hinaus erfolgte eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsanalyse verschiedener Heiz- und Warmwassersysteme für repräsentative Referenzgebäude.
- Welche Rolle kommt Wärmepumpen und der Sektorkopplung zwischen Wärme- und Stromsektor zu? Welche Schritte sind zu setzen, um das Potenzial der Sektorkopplung möglichst effektiv zu nutzen und keine zusätzlichen Stromlastspitzen zu initiieren?
- Welches Bündel an politischen Instrumenten ist notwendig, um das angestrebte Szenario zu erreichen?

1.2 Struktur des Berichts

Anschließend erfolgt ein kurzer Überblick über die Methodik, die zur Analyse der oben dargestellten Fragen angewandt wurde. Kapitel 2 stellt das Wärmewende-Szenario dar. Neben allgemeinen Grundlagen erfolgt eine Dokumentation der Ergebnisse für Österreich sowie auf Bundesländer-Ebene. In Kapitel 3 werden die ökonomischen Implikationen des Wärmewende-Szenarios diskutiert. Die notwendigen Investitionen in erneuerbare Heizsysteme sowie Gebäudesanierung werden ermittelt und den Heizkostensparnissen gegenübergestellt. Kapitel 4 widmet sich der Bedeutung der Strom-Wärme-Sektorkopplung und der Rolle der Wärmepumpe. In Kapitel 5 erfolgt die vergleichende Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heizsystemen. Schließlich werden in Kapitel 6 die für die Erreichung notwendigen bzw. geeigneten politischen Instrumente diskutiert.

2 Wärmewende-Szenario: Energieträger-Mix und CO₂-Reduktionen und technologische Maßnahmen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die Erstellung des Szenarios beschrieben (Kapitel 2.1) und die Ergebnisse für Österreich gesamt (2.2) sowie auf Bundesländer-Ebene (0) dargestellt.

2.1 Grundlagen, Methodik und Charakterisierung des Szenarios

2.1.1 Methodik

Die Entwicklung des Wärmewende-Szenarios beruht auf dem Modell Gebäudebestandsmodell Invert/EE-Lab (www.invert.at), Invert/EE-Lab ist ein dynamisches bottom-up Modell des Gebäudebestands, das die Wirkungen verschiedener politischer und ökonomischer Rahmenbedingungen (insbesondere ökonomische Anreize, regulative Standards in Bauordnungen etc.) auf Energiebedarf, Technologie- und Energieträgermix, CO₂-Emissionen und Kosten im Bereich Raumwärme, Warmwasser und Kühlenergie bis 2020/2030/2050/2080 simuliert. Ein besonderer Fokus des Modells liegt auf einer detaillierten Modellierung von politischen Instrumenten.

Die Kernidee des Modells ist eine detaillierte, stark disaggregierte Beschreibung des Gebäudebestands sowie der jeweiligen Heiz- Warmwasser und Kühlsysteme. Für den vorliegenden Bericht wurde eine räumlich aufgelöste Betrachtung gewählt. Darauf basiert die Berechnung des Energiebedarfs und die Bestimmung der Investitionszyklen. Basialgorithmus des Modells ist ein stochastischer, nicht rekursiver, myopischer, betriebswirtschaftlicher Nested-Logit Ansatz, der im Fall von Investitionsentscheidungs-situationen die Nutzfunktion von Akteuren (=Investoren) maximiert. Mehr Information zum Modell ist auf <https://www.invert.at> oder in Müller, (2015) bzw. Kranzl et al., (2013) verfügbar.

Die Input-Daten sind zum Teil in Kapitel 2 und zum Teil in Müller et al. (2017) dokumentiert. Auswertungen von Modell-Eingangsdaten und Annahmen auf Gemeindeebene können auch online unter <https://maps.invert.at> abgerufen werden. Die Charakterisierung des Szenarios und Darstellung der wesentlichen Szenario-Annahmen findet sich in Kapitel 2.1.6.

2.1.2 Heizgradtage

Topographisch lässt sich Österreich in drei große Naturräume gliedern, welche auch zu großen Teilen das vorherrschende regionale Klima definieren:

- Alpenvorland und randalpine Becken: Dieses Gebiet umfasst das Alpen- und Karpatenvorland in Oberösterreich und Niederösterreich, das Wiener Becken (Niederösterreich und Burgenland) sowie das südöstliche Alpenvorland (Burgenland und Südoststeiermark) welches Teil der Pannonischen Tiefebene ist. Diese Region zeichnet sich durch ein (für Österreichische Verhältnisse) warmes Klima aus und stellen den Siedlungsraum der der Mehrheit der österreichischen Bevölkerung dar.
- Das Gneis- und Granithochland als Teil der böhmischen Masse nördlich welches in Oberösterreich und im westlichen Teil von Niederösterreich nördlich der Donau liegt.
- Österreichische Teil der Alpen welcher mehr als 60 % der österreichischen Landfläche einnimmt und eine stark durch Berge und Tälern geprägten Landschaft darstellt.

Durch die sich darauf ergebenden größten Höhenunterschiede (sowie regionale und lokale Klimateffekte (Wärmeinseln Wien)) liegen die langjährigen mittleren Monatstemperaturen im Jänner in einem Bereich zwischen -14 und +4 °C (Abbildung 12). Dementsprechend unterschiedlich kann auch der Energiebedarf zur Raumwärmebereitstellung in Österreich ausfallen.

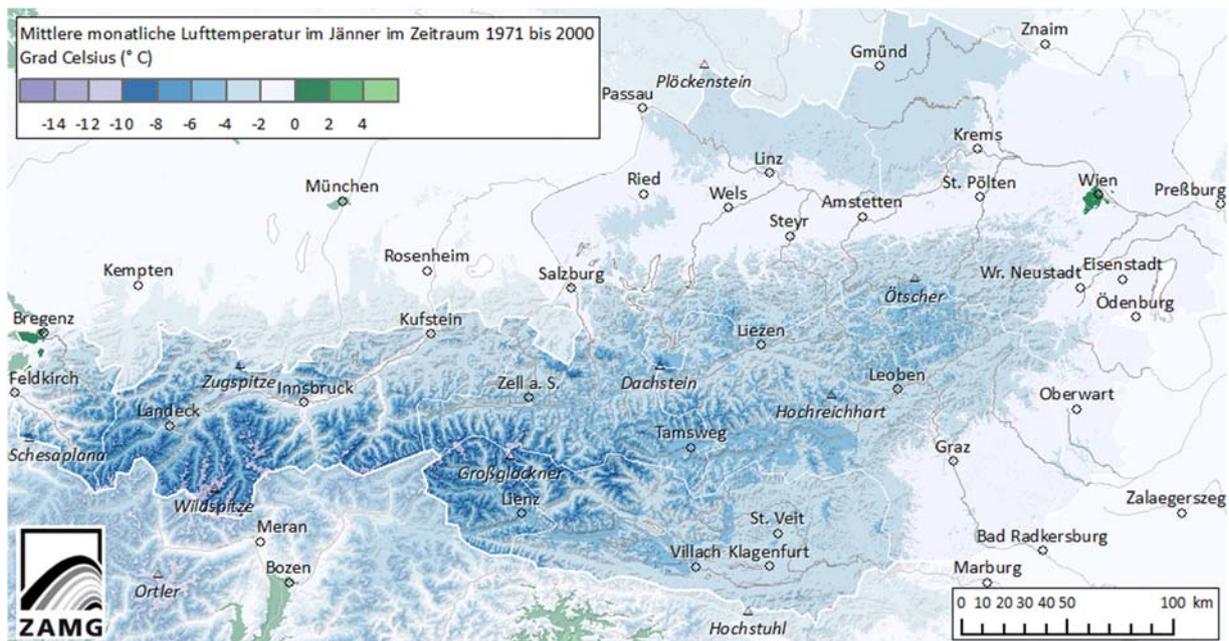


Abbildung 12. Mittlere monatliche Lufttemperatur im Jänner in Österreich (Bildquelle: Hiebl et al., 2010)

Diese Darstellung Landflächengewichtete Darstellung der mittleren Außentemperaturen berücksichtigt allerdings nicht die tatsächlichen Lebensräume der Bevölkerung in Österreich. Tatsächlich befindet sich aber auch im alpinen Teil Österreichs die Siedlungsgebiete (Abbildung 13) vorwiegende in den niedrigeren

Höhenlagen, sodass der klimatische Unterschied zwischen den Siedlungsgebieten nicht in vollem Umfang ausgeprägt ist.

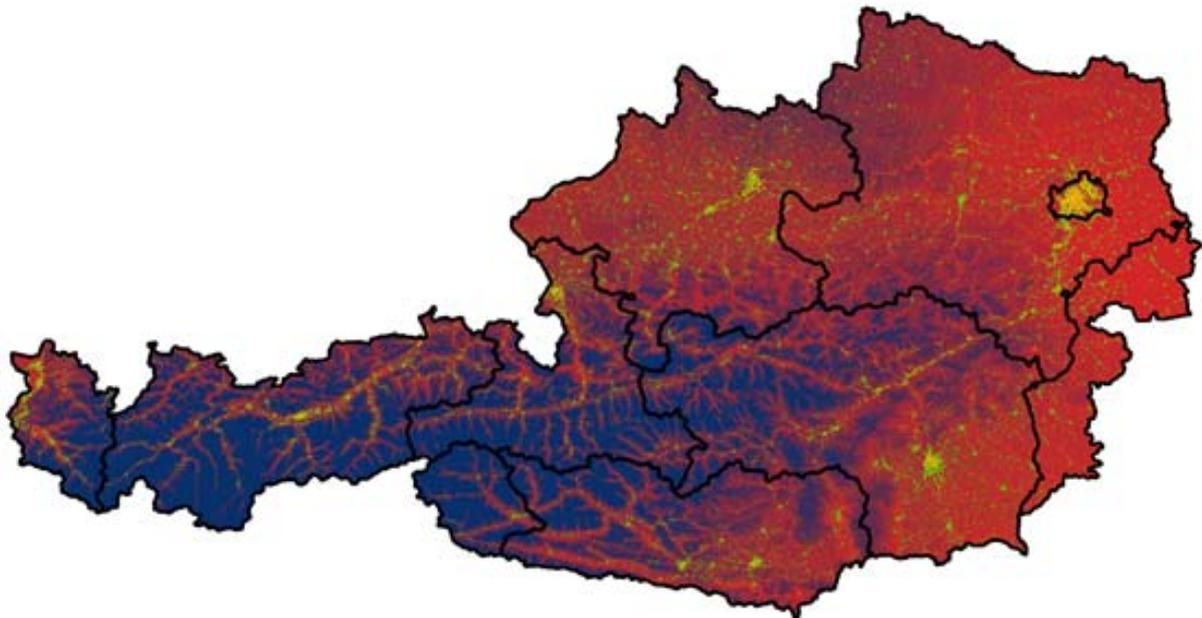


Abbildung 13. Heizgradtage und Wärmedichte von Österreich. (Hintergrundkarte: Heizgradtage dargestellt in den Farben Rot/Blau, Wärmedichte dargestellt in den Farben Grün/Gelb)

Zur Reduktion der Datenvielfalt im zur Anwendung kommenden Modell Invert/EE-Lab wurden die durchschnittlichen klimatischen Bedingungen einer jeden österreichischen Gemeinde betrachtet und in 10 Gruppen mit unterschiedlichen Temperaturen bzw. solarer Einstrahlung im Winter und Sommer zusammengefasst. Dabei wurde jede Gemeinde anhand der klimatologischen Bedingungen im jeweiligen Hauptort einer Gruppe zugeordnet. Die sich so ergebende Zuordnung der Gemeinden zu bestimmten Klimazonen ist in Abbildung 14 dargestellt.

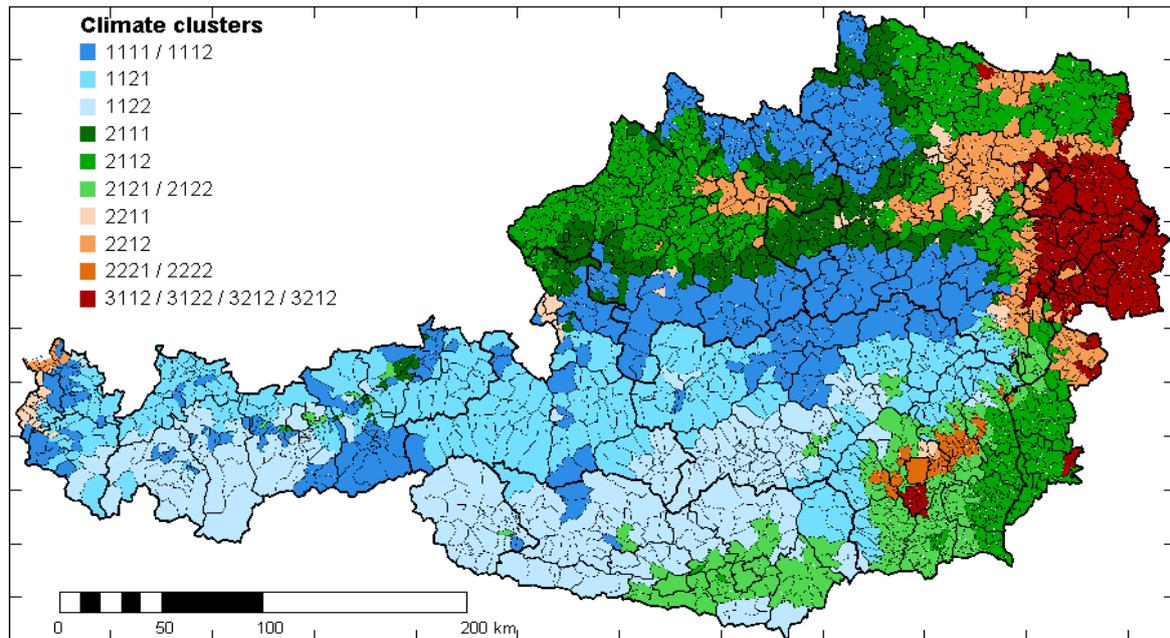


Abbildung 14. Modellierte Klimazonen: Klimazonen wurden anhand der klimatischen Parameter des Hauptortes jeder Gemeinde bestimmt.

2.1.3 IG-L Sanierungsgebiete

Des Weiteren wird in der Analyse einer möglichen Wärmewende auf den Umstand eingegangen, dass zahlreiche Gebiete in Österreich, insbesondere im Osten heute im erheblichen Ausmaß mit Luftschadstoffen belastet sind. In solchen Regionen erscheint es aus Sicht der Autoren sinnvoll, in der Wärmebereitstellung durch dezentrale Wärmeerzeuger verstärkt auf Technologien zurückzugreifen, die mit geringen Schadstoffemissionen einhergehen. Als Approximation für diese Regionen werden die als IG-L Sanierungsgebiete PM 10 (Stand April 2013) ausgewiesenen Gebiete herangezogen (Abbildung 15).

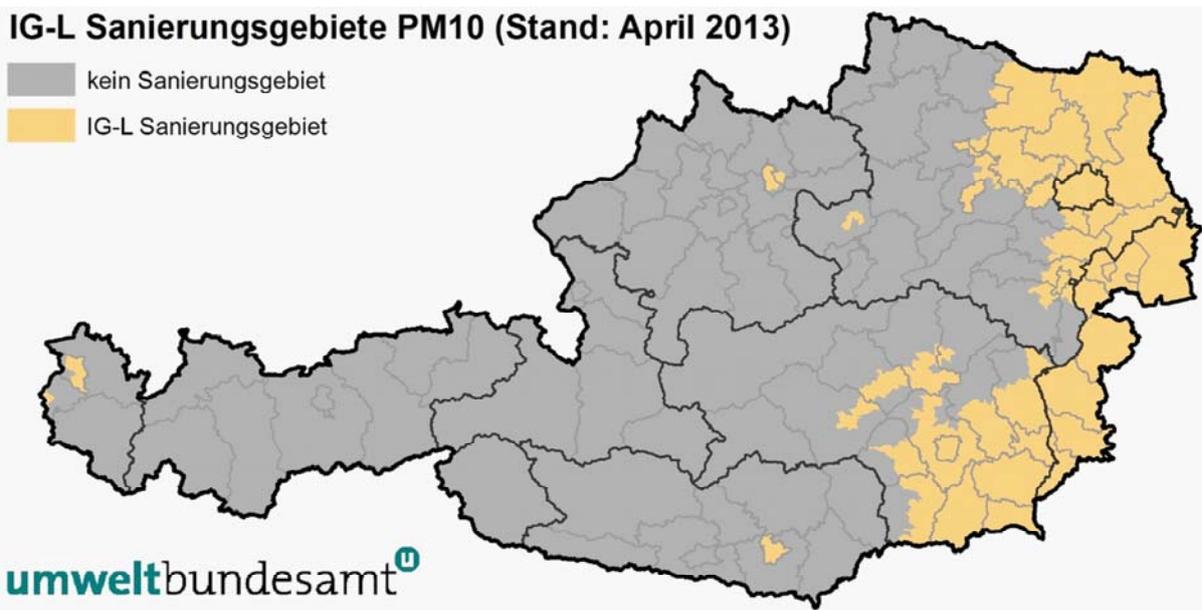


Abbildung 15. IG-L Sanierungsgebiete in Österreich. (Quelle: Umweltbundesamt, 2013)

In der Entwicklung des Wärmewende-Szenarios werden diese Regionen insofern berücksichtigt, als dass in den IG-L Sanierungsgebieten kein forcierter Austausch von dezentralen erdgasbefeuerten Heizungssystemen durch dezentrale biomassebefeuerte Heizungssysteme ohne zusätzliche Emissionsreduktionen stattfinden sollte.

Deshalb greift in diesen Regionen die Forderung, dass, sofern Fernwärme vorhanden bzw. möglich wäre, keine fossilen Heizungssysteme im Neubau oder (ab 2031) im Falle eines anstehenden Kesseltausches erlaubt sind, nicht.

Mit dem hier skizzierten Wärmewende-Szenario wird versucht ein Parisabkommen-kompatibles Szenario für den österreichischen Wärmesektor aufzuzeigen, das in einem so gering als möglichen Ausmaß auf Verboten oder Nutzungspflichten setzt.

Wird nun für Regionen die außerhalb einer IG-L Zone liegen und in welchen ein Fernwärmeanschluss möglich wäre, ein Verbot des Neuanschlusses von fossilen Energieträgern eingeführt, so bleibt den Gebäuden neben einen Fernwärmeanschluss noch die Möglichkeit auf die Wärmepumpentechnologie oder auf Gebäudezentralheizungen mit Biomassekesseln zu setzen.

Aus Sicht der Autoren wäre jedoch in IG-L Gebieten ein starker Ausbau von dezentralen Biomassekesseln (ein Gebäude – ein Kessel) ohne zusätzliche Emissionsreduktionen im kleinen Leistungsbereich nicht erstrebenswert. Würde daher in IG-L Gebieten ein Verbot von Gas-befeuerten Heizkesseln ausgesprochen werden und gleichzeitig auch der Ausbau von dezentralen Biomassekesseln ohne zusätzliche Emissionsreduktion unerwünscht sein, so stünden den Gebäuden neben einem Fernwärmeanschluss nur noch die Wärmepumpentechnologie zur Verfügung. Die

letztgenannte ist allerdings in unsanierten Bestandsgebäuden mit hohem spezifischen Wärmebedarf nicht besonders effizient (siehe dazu Abschnitt 4.1). Daher würde eine solche energiepolitische Maßnahme für solche Gebäude einem Fernwärmeanschlusszwang ähnlich sein. Ein solches Instrument — mit allen seinen Vor- und Nachteilen — wurde im Wärmewende-Szenario aber bewusst vermieden. Es bleibt offen, wie diese modelltechnische Annahme in der Realität umgesetzt werden sollte. Es steht grundsätzlich ein Bündel an Maßnahmen zur Verfügung, um die Luftreinhaltung in IG-L Gebieten zu erreichen. Insbesondere Fernwärme sowie Filteranlagen in dezentralen Kesseln stellen hier jedenfalls wichtige Maßnahmen dar. Werden zum Beispiel Ultra Low Emission Technologies bei Biomasseeinzelfeuerungen im Feld in IG-L gebieten umgesetzt, kann auf Gas zur Erreichung der Immissionsschutz-Ziele weitestgehend verzichtet werden.

2.1.4 Verfügbarkeit von gasförmigen, leitungsgebundenen Energieträger

Die mittelfristige Verfügbarkeit von Erdgas wurde in Abhängigkeit der Lage bezogen auf die Distanz zur nächsten Erdgastransportleitung (e-control, 2008) bestimmt. Als maximaler Abstand zur Transportleitung, bei welcher noch eine potentielle Erdgasversorgung unterstellt wird, beträgt 2 km zuzüglich des Nenndurchmessers der Leitung mal 1000⁵. Für Gebiete mit einer Wärmedichte von unter 8 GWh/km²a wird der maximal realisierbare Anschlussgrad um einen Faktor von 0,5 reduziert, in Gebieten mit einer Wärmedichte zwischen 8 und 16 GWh/km²a werden die maximal realisierbaren Anschlussgrade um 25 % reduziert. Näheres zur Methode ist in Müller (2015) dargestellt. Daraus ergibt sich die Abbildung 16 dargestellte Verfügbarkeit von Erdgas in den österreichischen Gemeinden. Die Anteile beziehen sich dabei bereits auf den energiegewichteten Anteil und nicht auf den flächengewidmeten Anteil.

⁵ Dies entspricht bei einer Transportleitung mit DN 700 (700 Millimeter Durchmesser) einem Abstand von 700 Meter plus 2 km.

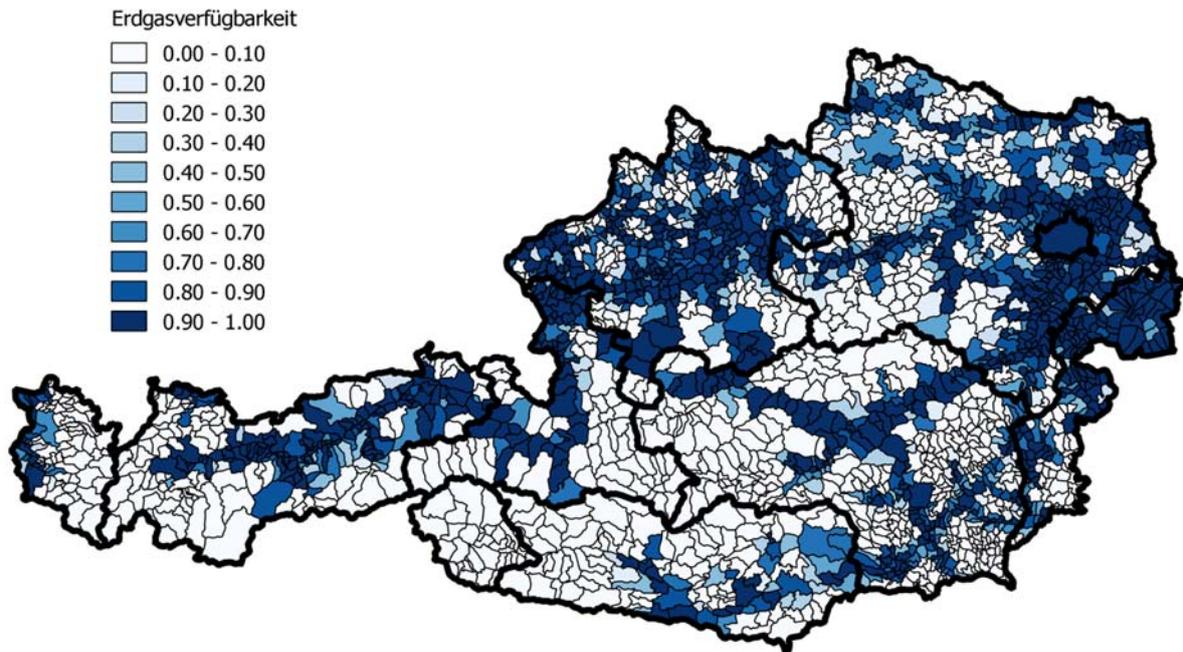


Abbildung 16. Berechnete mittelfristige Verfügbarkeit von Erdgas in österreichischen Gemeinden.

2.1.5 Wärmebedarfsdichten

Aus der räumlichen Verortung der Gebäude, des Gebäudebestandes je Gemeinde nach Bauperiode und Gebäudetyp sowie den klimatischen Bedingungen in der jeweiligen Gemeinde wurden die Wärmenachfragedichten ermittelt. Diese sind als das Verhältnis der Wärmenachfrage bezogen auf die Landfläche definiert. Die Methode dazu ist bei Müller et al. (2014) beschrieben. Darauf aufbauend wurde der Wärmebedarf zu Nachfragedichtegruppen zusammengefasst. Die Gruppe mit der höchsten Wärmebedarfsdichte umfasst den Wärmebedarf in Regionen mit einem Bedarf der über 16 GWh/km²a⁶ liegt. Für die Gruppe mit dem niedrigsten Wärmebedarf wurde ein oberer Grenzwert von 6 GWh/km²a angesetzt.

Die nachfolgenden Abbildungen stellt den Anteil des Wärmebedarfes je Gemeinde dar, der in die drei Klassen: hohe Wärmebedarfsdichte (>16 GWh/km²a), mittlere Wärmebedarfsdichte (8-16 GWh/km²a) sowie niedrige Wärmebedarfsdichte (<8 GWh/km²a) liegt.

⁶ Wie bei Müller et al. (2014) diskutiert, der berechnet Wert der Wärmedichte stark von der Größe der zugrundeliegenden Gitterzellen ab. Mit steigender Größe der Gitterzellen auf deren Basis die Berechnung durchgeführt wird, sinken die berechneten Wärmedichten im weniger dicht besiedelten Raum ab, da zunehmend nicht besiedelte Flächen berücksichtigt werden. Daher sind die so ermittelten Wärmedichten nicht unbedingt direkt mit Ergebnissen auf Basis anderer Modelle vergleichbar.

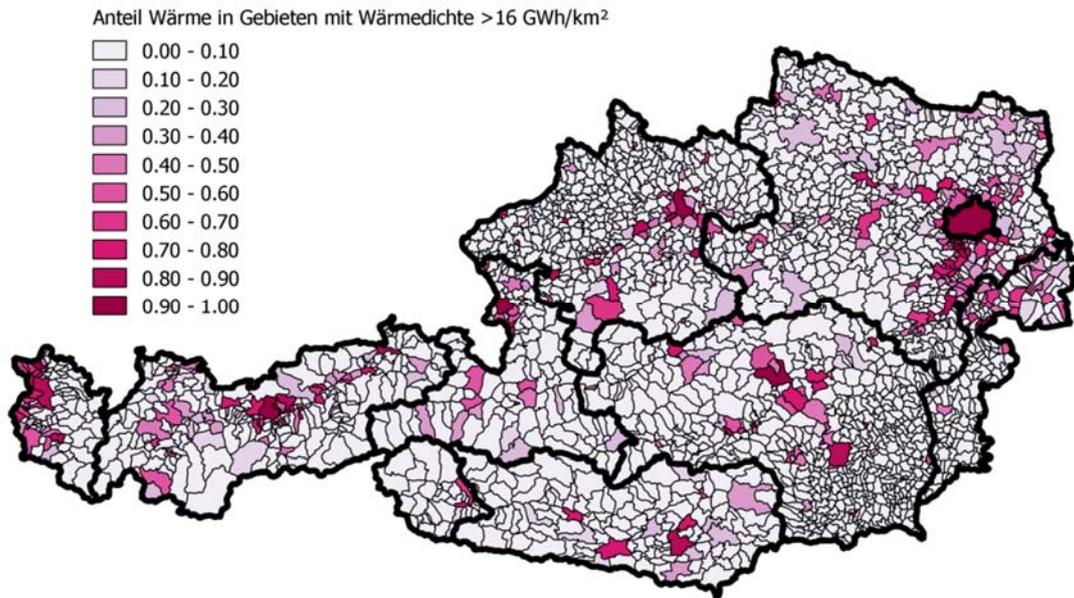


Abbildung 17. Anteil des Wärmebedarfes zur Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung je Gemeinde der in Gebiete mit einer hohen Wärmedichte (>16 GWh/km²a) liegt.

Aus Abbildung 17 wird ersichtlich, dass hohe Wärmenachfrageanteile in Gebieten mit einer hohen Wärmedichte vor allem in den Regionen mit Städten, vor allem Bezirks- oder Landeshauptstädten, gegeben sind. Darüber hinaus sind ergeben sich beim benutzen Ansatz noch für Gemeinden im südlichen Umfeld von Wien, dem westlichen Teil von Vorarlberg sowie für einige Gemeinden mit kompakten Ortschaften (zum im Burgenland, Tirol oder Salzkammergut) ein nennenswerter Wärmebedarf in Gebieten mit hoher Wärmedichte.

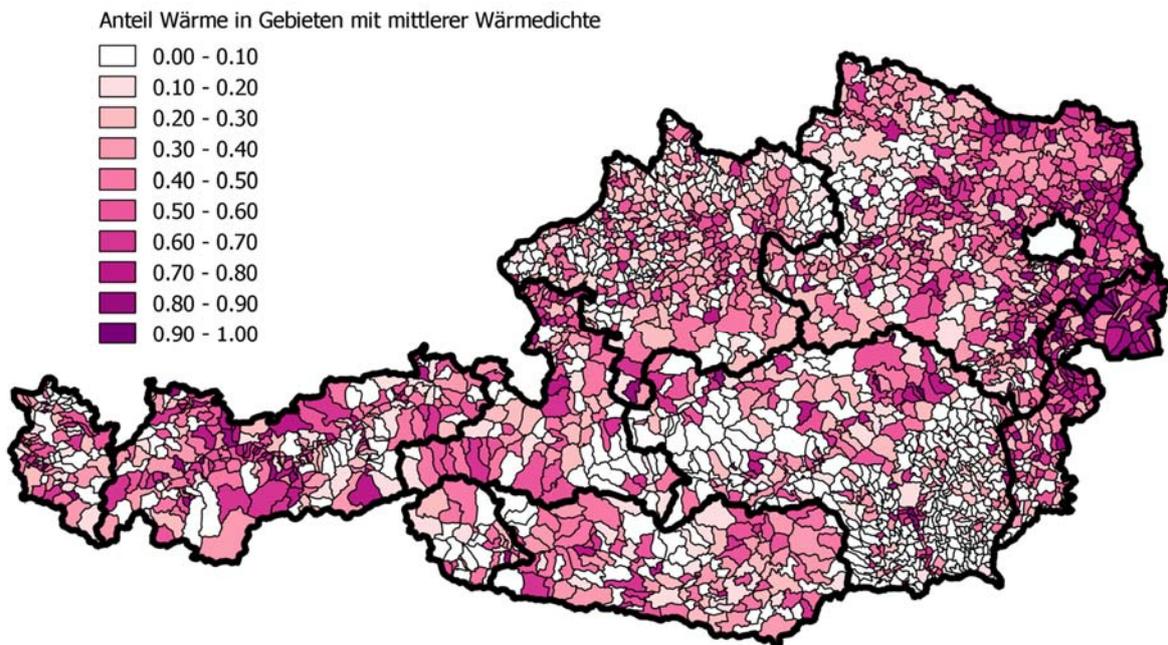


Abbildung 18. Anteil des Wärmebedarfes zur Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung je Gemeinde der in Gebiete mit einer mittleren Wärmedichte (8-16 GWh/km²a) liegt.

Bei den Gebieten mit hoher Bedarfsnachfrage in Gebieten mit einer mittleren Wärmedichte stechen besonders Gemeinden im nördlichen Burgenland sowie dem östlichen Teil von Niederösterreich hervor. Dabei handelt es sich vorwiegend um ländlich geprägte Gemeinden mit kompakten Ortschaften und einem geringen Anteil an Streusiedlungen.

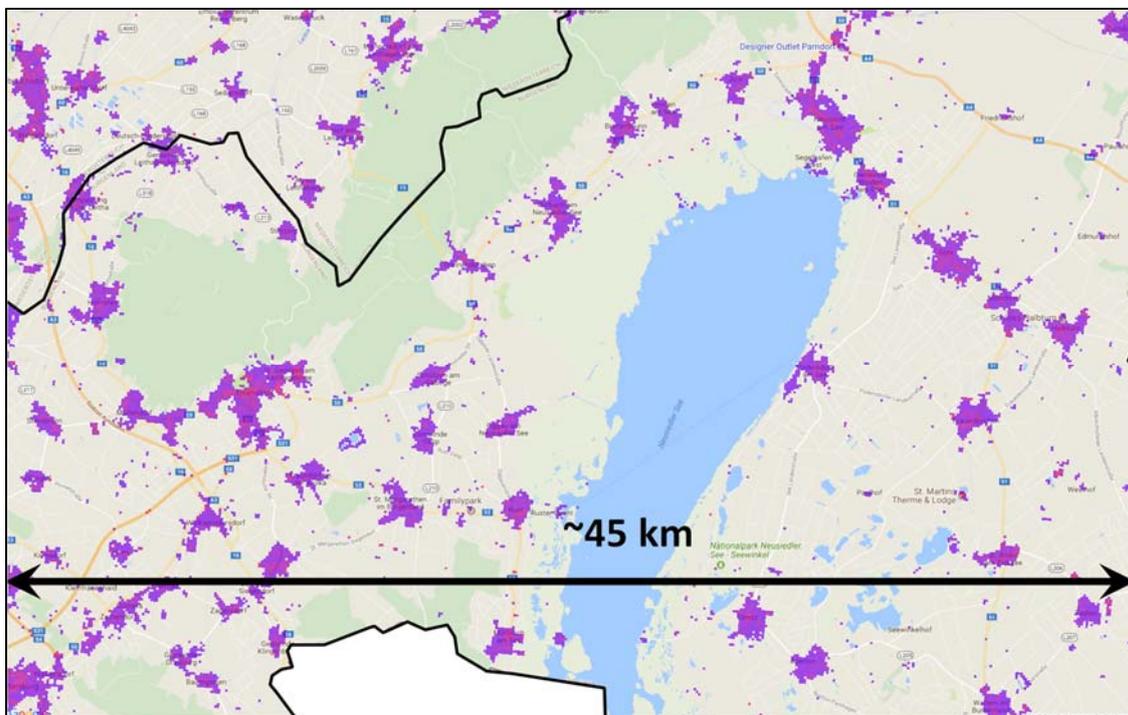


Abbildung 19. Siedlungs- und Wärmebedarfsstruktur im nordöstlichem Burgenland

Schließlich stellt Abbildung 20 noch den berechneten Anteil des Wärmebedarfes je Gemeinde in Zonen mit einer niedrigen Wärmedichte dar. Hohe Anteile können sich einerseits durch eine generell niedrige Bevölkerungszahl bei moderater Zersiedelung, andererseits aber auch durch eine moderate Bevölkerungszahl bei einer großen Zersiedelung ergeben.

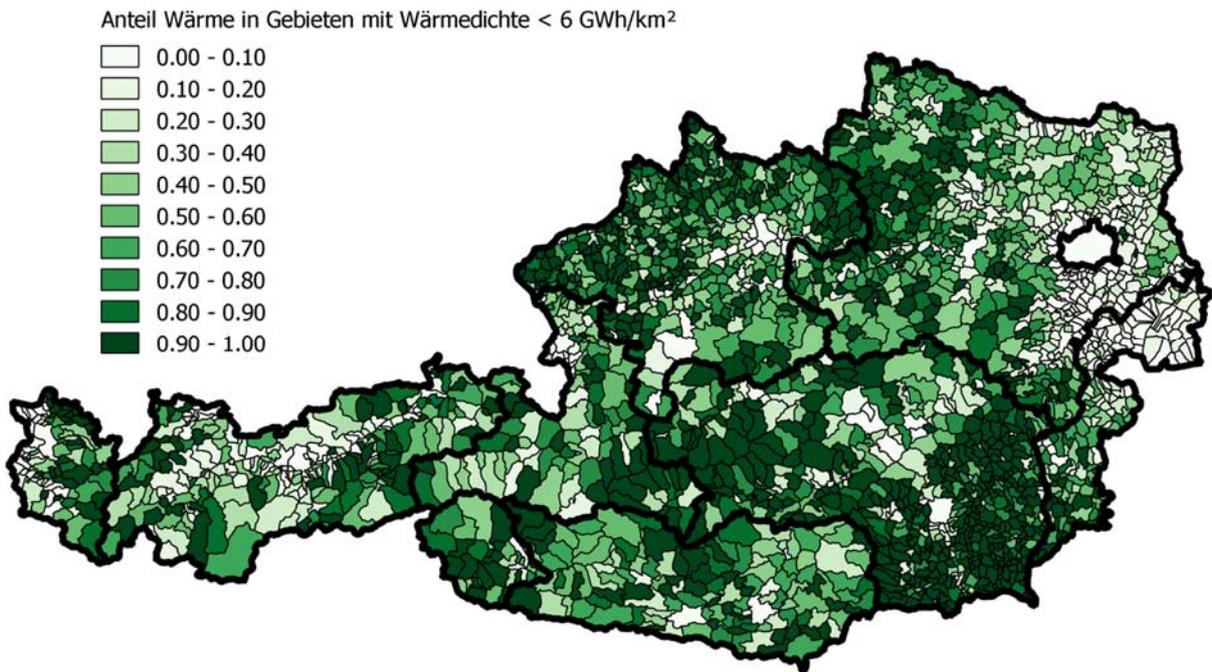


Abbildung 20. Anteil des Wärmebedarfes zur Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung je Gemeinde der in Gebiete mit einer niedrigen Wärmedichte (<8 GWh/km²a) liegt.

Unter den Regionen mit einer besonders hohen Zersiedelung stehen insbesondere die Gebiete im Bereich der östlichen Steiermark beziehungsweise westlichem Oberösterreich hervor. Im Gegensatz zu den Siedlungsstrukturen im nördlichen Burgenland (bzw. Auch Marchfeld in Niederösterreich) ist der Anteil der Bevölkerungen innerhalb von definierten Siedlungseinheiten deutlich niedriger und auf große Teile die gesamte Landfläche verteilt (Abbildung 21).

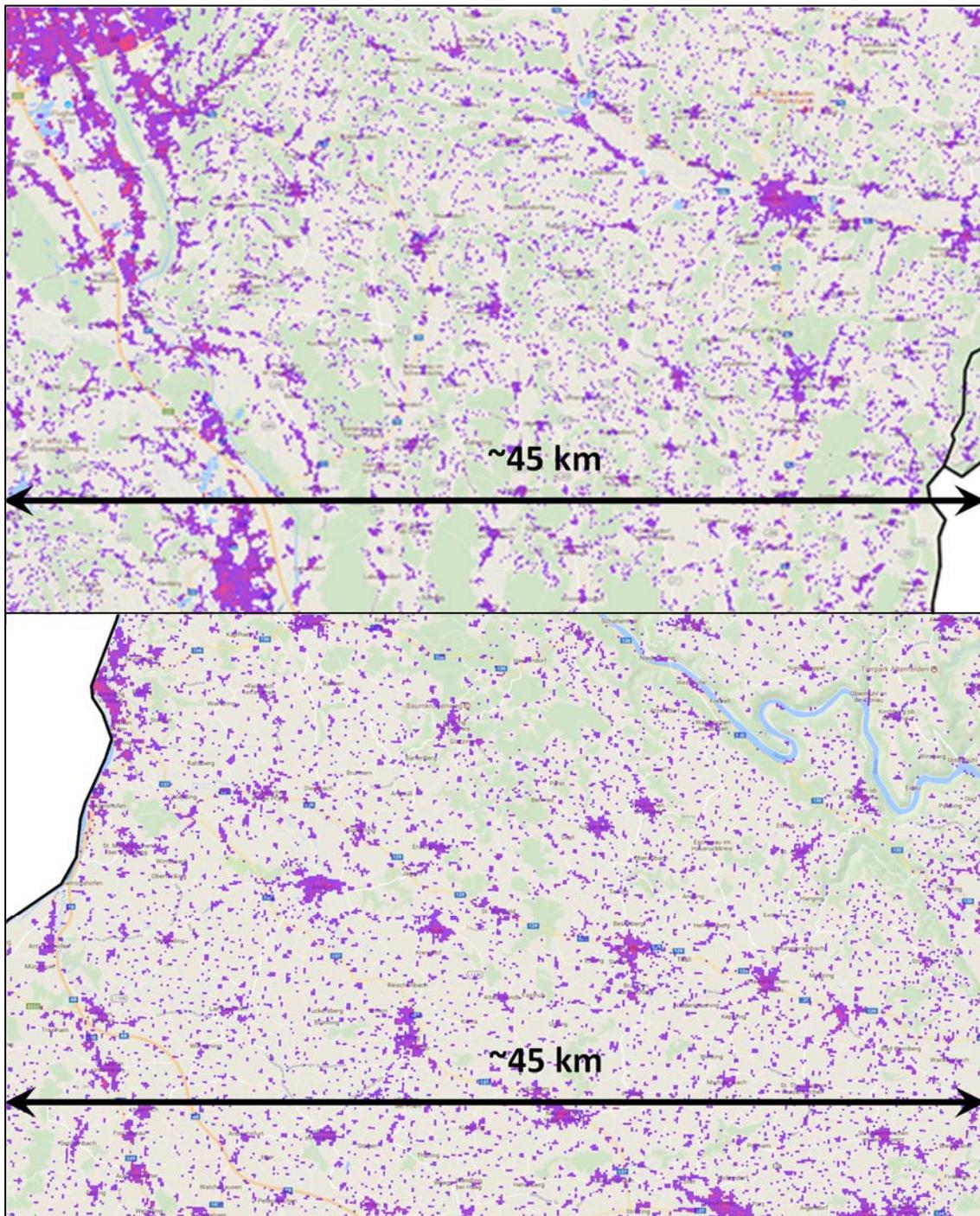


Abbildung 21. Siedlungs- und Wärmebedarfsstruktur im östlichen Teil der Steiermark (obere Grafik, östlich von Graz und Leibnitz) und im westlichen Teil von Oberösterreich (untere Grafik, nördlich von Ried im Innkreis und Grieskirchen).

2.1.6 Charakterisierung des Wärmewende-Szenarios

Energiepolitisch orientiert sich das Wärmewende-Szenario stark am WAMplus 2017 der aktuellen Energieszenarien für den Wärmebedarf der Kleinverbraucher welche im Rahmen der energiewirtschaftlichen Szenarien für den klima- und energiepolitischen Rahmen 2030 und 2050 und den Monitoring Mechanism 2017 im Auftrag des Umweltministeriums erstellt wurden (Müller et al., 2017). Ziel des Szenarios ist eine Entwicklung des Wärmebedarfs in den österreichischen Gebäuden zu skizzieren, die konsistent mit einer gesamteuropäischen Dekarbonisierung des Wirtschaftssystems verläuft. Das WAMplus 2017 Szenario entspricht einer 80 % CO₂-Reduktion des österreichischen Wirtschaftssystems bis 2050 (gegenüber 1990). Im folgenden Abschnitt werden die wesentlichen Annahmen des WAMplus 2017 bzw. des Wärmewende-Szenarios dargestellt. Sofern die Maßnahmen auch Teil des WAMplus 2017 Szenarios sind, sind die dazugehörigen Ausführungen größtenteils aus Müller et al. (2017) übernommen.

Ziel des Wärmewende-Szenarios ist es, eine Entwicklung aufzuzeigen, die Sektor- wie auch Staatenübergreifend konsistent mit einer Parisabkommen-konformen Entwicklung ist. Zur Erreichung des Zieles wird auf die Steigerung der Energieeffizienz und nicht nur auf den weiteren Umstieg auf erneuerbare Energieträger gesetzt. Insbesondere wird im Szenario für den Energiebedarf des Gebäudesektors der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten von biogenen Energieträgern in allen Sektoren sowie der Landnutzungskonkurrenz mit nicht-energetischen Formen der Biomassenutzung Rechnung getragen. Daher wird bewusst eine Entwicklung skizziert, in der es zu keinem Anstieg der absoluten Biomassemengen in der Wärmebereitstellung im Gebäudesektor kommt. Dennoch wird im Neubau wie auch in der Gebäudesanierung nicht auf sehr ambitionierte Gebäudestandards gesetzt. Die im Modell vorgesehenen Mindeststandards liegen in einem Bereich, der mit der derzeitigen österreichischen Definition des Niedrigstenergiegebäudes (OIB, 2014) konsistent ist. Das bedeutet, dass unterstellt wird, dass auch in 2050 Neubauten errichtet werden dürfen, deren Heizwärmebedarf von 30 kWh/m² (bei einer charakteristischen Länge l_c von 1,5) den diesbezüglich zulässigen Kennwert des Passivhausstandards um den Faktor 2 überschreiten. Auch in der Sanierung von Bestandsgebäuden ist es aus ordnungspolitischer Sicht über die gesamte Periode möglich, ein solches Gebäude auf einen Heizwärmebedarf von 45 kWh/m² (bezogen auf das österreichische Referenzklima) zu sanieren.

In dem Szenario wird versucht energiepolitische Rahmenbedingungen zu skizzieren, die eine solche Entwicklung herbeiführen könnten. Die im Szenario implementierten und hier dargestellten Politikmaßnahmen sind nicht normativ zu verstehen, sondern zeigen eine Auswahl an Handlungsmöglichkeiten und Handlungszeitpunkten auf. Dennoch sollte an dieser Stelle betont werden, dass die Zielerreichung, aus Sicht der Autoren, ein vergleichbares Bündel an Maßnahmen erfordern wird und ordnungs- und

fiskalpolitische Maßnahmen in Kombination mit weichen Maßnahmen (Bewusstseinsbildung, etc.) und raumordnungspolitischen Instrumenten in einem ausgewogenen Umfang berücksichtigen muss.

Zum Schluss sei noch darauf hingewiesen, dass wir zukünftige oder bereits vorhandene Technologien, deren Wirkungen auf den energetischen Verbrauch der Gebäude noch nicht ausreichend empirisch belegt sind (z.B. Smart Buildings) oder deren Kostenentwicklung derzeit noch nicht abschätzbar ist (thermischer Energiespeicher mit hoher Speicherdichte, PV-integrierte Dachziegel), nicht berücksichtigt haben. Auch wurden die Auswirkungen von alternativen Wohn- und Arbeitsformen, die Rolle von flexiblen Grundrissen und modularen Gebäudekonzepten sowie die Rolle von NaWaRos (nachwachsenden Rohstoffen) nicht quantifiziert.

2.1.6.1 Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen und Energiepreise im Wärmewende-Szenarios

Dem Wärmewende-Szenario ist grundsätzlich ein wirtschaftliches Wachstum von 1,5 %p.a. hinterlegt (siehe Müller et al., 2017). Die Energiepreise (inkl. CO₂-Abgabe) sind in Abbildung 10 dargestellt.

2.1.6.2 Energiepolitische Rahmenbedingen, Förderungen und thermische Sanierungen

Neben der im vorherigen Kapitel dargestellten Implementierung einer CO₂-Abgabe, die von allen Nutzern von Endenergieträgern zu tätigen ist, werden im Wärmewende noch die folgenden zusätzlichen energiepolitischen Instrumente berücksichtigt:

- Raumordnung und Wohnbaupolitik:
Energieraumplanung zur Verdichtung von Siedlungsflächen, Reduktion der Nutzflächen im Neubau.
- Ordnungspolitik:
Gebäudeindividueller Sanierungsfahrplan, Verbot von fossil befeuerten Flüssig- und Feststoffbrennkesseln sowie verpflichtender Austausch dieser innerhalb einer Übergangsfrist, Erhöhung des geforderten Anteils erneuerbarer Energieträger im Neubau, bei thermisch renovierten Gebäuden und im Falle eines Kesseltausches.
- Finanzpolitische Begleitmaßnahmen:
Anhebung der öffentlichen Förderbudgets für thermische Sanierungsmaßnahmen und zur Installation von erneuerbaren Energieträgern.

- Konsequente Überprüfung hinsichtlich der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben bezüglich HWB, CO₂- und Primärenergiefaktoren für Neubau und thermisch renovierte Gebäude gemäß dem Dokument „nationaler Plan“ (OIB, 2014).
- Informationskampagnen.

Raumordnung und Wohnbaupolitik

Erhöhung der Siedlungsdichte

Die Maßnahmen im Bereich der Raumordnungspolitik zielen auf einer Erhöhung der Siedlungsdichte im ländlichen Raum ab und werden unseren Annahmen nach ab 2025 eingeführt. Einerseits wird dies durch eine Verhinderung einer weiteren Zersiedelung bei Neubauten und der Forderung, dass Neubauten in unmittelbarer Nähe zu bestehenden Siedlungszonen zu errichten sind, erreicht. Ein zusätzlicher Trend hin zu Mehrgeschoßwohnbauten und einer geringeren Anzahl an Wohngebäuden mit bis zu zwei Wohneinheiten wird nur in geringem Ausmaß unterstellt. Im Referenzszenario beträgt der Anteil von Nutzflächen in neu errichteten (ab 2030) Wohngebäuden mit mehr als zwei Wohneinheiten 50 %. Im Wärmewende-Szenario wird dieser Anteil auf 52 % erhöht.

Der Effekt der höheren Siedlungsdichte drückt sich im Sektor der Wärmeversorgung von Gebäuden durch eine Erhöhung der Anschlussfähigkeit an netzgebundene Energieträger, allen vor Fernwärme, aus.

Reduktion der Nutzflächen im Neubau

Im Wärmewende-Szenario werden Maßnahmen unterstellt, die zu einer Reduktion der Nutzflächen pro Haushalt (bzw. Wertschöpfung im Dienstleistungssektor) von 19 % (Reduktion der Längen und Breiten um jeweils 10 %) führen. In dieser Studie wird jedoch nicht definiert, durch welche Instrumente bzw. Maßnahmen ein solches Ziel erreicht wird.

Ordnungspolitik

Gebäudeindividueller Sanierungsfahrplan

Im Wärmewende-Szenario wird die Einführung eines gebäudeindividuellen Sanierungsfahrplanes ab dem Jahr 2022 unterstellt. Dieses Instrument ist so ausgestaltet, dass Bestandsgebäude, die einen bestimmten Heizwärmebedarf (HWB) überschreiten, innerhalb einer vorgegebenen Frist thermisch sanieren müssen. Im Falle einer solchen thermischen Sanierung müssen die Vorgaben hinsichtlich des Heizwärmebedarfes gemäß dem Dokument „Nationaler Plan“ (OIB 2014) eingehalten

werden. Zusätzliche Verschärfungen hinsichtlich des HWBs sind nicht vorgesehen. Gebäude, die im Modell als „schwer sanierbar“ eingestuft werden, unterliegen nicht einem solchen Sanierungsfahrplan.

Der HWB-Grenzwert den Gebäude unterschreiten müssen um einer solchen Sanierungsverordnung nicht zu unterliegen, wird im Zeitverlauf sukzessive nach unten gesetzt. Bezogen auf das österreichische Referenzklima wird dieser wie folgt errechnet:

$$\text{HWB} = \text{HWB}^* \cdot (1 + 3 / l_c) \text{ mit } l_c = \text{charakteristische Länge des Gebäudes}$$

Für die Kenngröße HWB* sind die Tabelle 1 dargestellten Grenzwerte definiert. Zusätzlich fallen Gebäude nur dann in eine solche Sanierungspflicht, wenn die letzte thermische Sanierung bzw. die Errichtung des Gebäudes bereits mehr als 30 Jahre in der Vergangenheit liegt. Für ein Wohngebäude mit einer charakteristischen Länge l_c von 1,5 (Einfamilienwohngebäude) bedeutet dies, dass es in 2021 einem Sanierungsfahrplan unterworfen wird, wenn der HWB des Gebäudes bezogen auf das österreichische Referenzklima einen Wert von 210 kWh/m² überschreitet. Zusätzlich wird unterstellt, dass ein Informationsdefizit hinsichtlich der tatsächlichen HWBs von Gebäuden besteht. Daher wird im Szenario unterstellt, dass ein solcher Bescheid erst ausgestellt wird, wenn der errechnete Heizwärmebedarf den vorgegebenen Grenzwert um 5 kWh/m² überschreitet.

Tabelle 1. Grenzwerte für den maximalen Heizwärmebedarf im Wärmewende-Szenario ab welcher eine Sanierungsverpflichtung verfügt wird.

	2021	2025	2030	2035	2040
HWB*	70	49	42	30	28,5
mit $\text{HWB} = \text{HWB}^* (1 + 3 / l_c)$					

Wird ein solcher Bescheid ausgestellt, so muss gemäß dem implementierten Instrument eine thermische Sanierung innerhalb eines Zeitraumes von 10 Jahren durchgeführt werden. Auch hier ist unterstellt, dass die tatsächliche Durchführung der Sanierungsmaßnahme gegenüber der Vorgabe etwas (2 Jahre) verzögert umgesetzt wird. Die Entwicklung der unterstellten Maßnahmenrate ab Ausstellung des Bescheides ist in Abbildung 22 dargestellt.

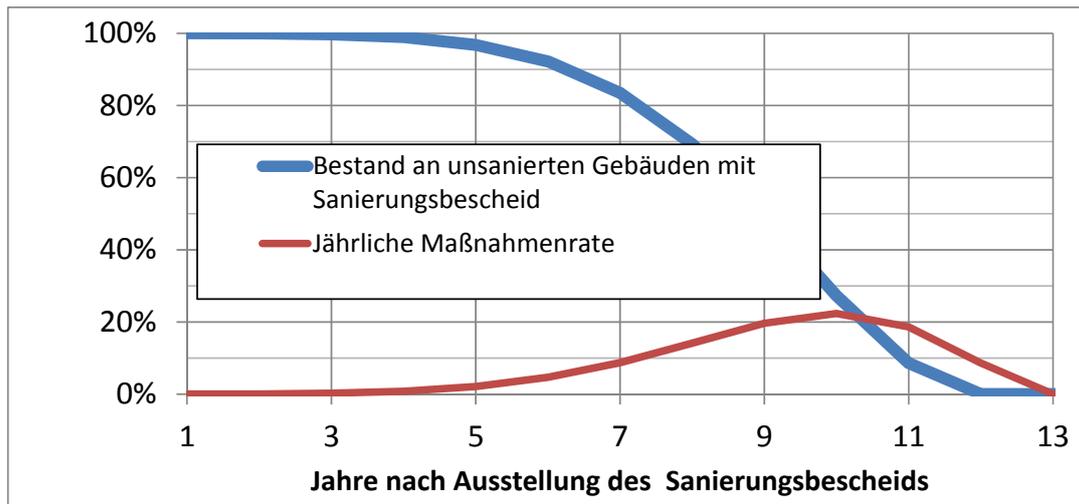


Abbildung 22. Unterstellte Entwicklung der Maßnahmenumsetzung ab Erhalt eines Bescheides zur thermischen Sanierung von Gebäuden.

Verpflichtung zum Ersatz bestehender öl- und kohlebefeuerter Heizkessel

Im Wärmewende-Szenario wird unterstellt, dass bestehende Heizungssysteme die mit Heizöl oder Kohle befeuert werden, ab 2025 innerhalb einer angemessenen Zeitdauer durch alternative Systeme ersetzt werden müssen. Diese Verpflichtung betrifft alle betroffenen Heizkessel, deren Alter 27 Jahre überschritten hat. Als angemessener Zeitraum werden wiederum 10 Jahre (+2) definiert. Die Entwicklung der Maßnahmenrate verläuft, analog zur Sanierungspflicht, wie in Abbildung 22 dargestellt. Ab 2035 wird das erforderliche Alter auf 19 Jahre gesetzt, die Umsetzungspflicht wird auf 9 (+2) Jahre reduziert. Ab 2040 wird diese Bedingung nochmals verschärft und eine Umsetzungspflicht innerhalb von 6 (+2) Jahren gefordert.

Verbot von fossil befeuerten Heizölkesseln

Im Wärmewende-Szenario ist die Einführung einer Maßnahme unterstellt, die die Nutzung von Öl- und Kohlekesseln im Neubau ab dem Jahr 2022 unterbietet. Bestandsgebäude dürfen aber weiterhin Ölkessel einsetzen. Dies gilt sowohl für den Ersatz eines bestehenden Ölkessels als auch im Falle eines Umstieges von einem anderen Energieträger auf Heizöl.

Für Bestandsgebäude gilt das Verbot der Installation neuer Ölkessel ab dem Jahr 2025. Ab diesem Zeitpunkt ist weder der Wechsel von anderen Energieträgern auf Heizöl, noch der Ersatz eines bestehenden Heizölkessels durch einen neuen Heizölkessel möglich.

Nutzungspflicht erneuerbarer Energieträger

Im Wärmewende-Szenario wird ab 2021 die Einführung einer Nutzungspflicht von erneuerbaren Energieträgern im Neubau bzw. bei thermischer Sanierung von Bestandsgebäuden gefordert. Dieser Anteil kann entweder durch die Nutzung von Solarthermie, PV, Umgebungswärme (Wärmepumpe), Biomasse oder über den erneuerbaren Anteil der Strom- und Fernwärmeerzeugung erreicht werden. Ab 2030 wird zudem auch im Falle eines Kesseltausches ein solcher Mindestanteil an erneuerbaren Energieträgern gefordert. Die geforderten Anteile nehmen im Zeitverlauf stetig zu. Alternativ dazu können die geforderten Anteile auch über eine Ersatzabgabe geleistet werden. Die Höhe dieser ist so eingestellt, dass über den Gesamtbestand hinweg etwa 90 % durch die erneuerbaren Quote erfüllt werden.

Tabelle 2. Geforderter Anteil an erneuerbaren Energieträgern in Wohn- und Nichtwohngebäuden.

	2021	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wohngebäude							
Neubau	30 %	40 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %
Therm. sanierte Gebäude	22,5 %	30 %	37,5 %	41 %	45 %	49 %	52,5 %
Kesseltausch, therm. unsanierte Geb.	18 %	24 %	30 %	33 %	36 %	39 %	42 %
Nichtwohngebäude							
Neubau	25 %	35 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %
Therm. sanierte Gebäude	19 %	26 %	34 %	37,5 %	41 %	45 %	49 %
Kesseltausch, therm. unsanierte Geb.	15 %	21 %	27 %	30 %	33 %	36 %	39 %

Einschränkung des Einsatzes von Erdgas in Nicht-IG-L Gebieten

Im Wärmewende-Szenario wird eine Maßnahme unterstellt, die den Einsatz von Erdgas einschränkt. Konkret ist der Einsatz von Erdgas, sofern ein Gebäude nicht bereits ein solches Heizungssystem verwendet, untersagt, wenn sich dieses Gebäude nicht in einem IG-L Sanierungsgebiet⁷ (gemäß Definition von 2013) befindet und wenn Fernwärme verfügbar ist.

Konsequente Überprüfung hinsichtlich Erfüllung der Vorgaben gemäß OIB (2014)

Das Wärmewende-Szenario sieht, mit einer Ausnahme, keine Verschärfung der Vorgaben hinsichtlich des maximalen flächenspezifischen Heizwärmebedarfes (HWB) sowie der maximalen CO₂-Emissionen und des maximalen Primärenergiebedarfes⁸

⁷ In IG-L Gebieten sollte nicht der großflächige Einsatz von dezentralen Heizungssystemen mit biogenen Energieträgern forciert werden. Damit stehen den Gebäuden in IG-L Gebieten weniger Alternativen zur Verfügung.

⁸ Der Haushalts- und Betriebsstrombedarf wird nicht explizit berücksichtigt. Für diese wird ein über den gesamten Zeitraum konstanter Faktor angesetzt. Dies stellt in Kombination mit sinkenden

gegenüber dem OIB-Dokument „Nationale Plan“ (OIB, 2014) vor. Die Ausnahme betrifft den Nachweis der Erfüllung über den Gesamtenergieeffizienzfaktor (f_{GEE}). Wird der Nachweis über diesen Faktor geführt, so ist gemäß OIB ein höherer HWB („16er-Linie“ im Neubau) gegenüber dem Nachweis mittels des $HTEB_{Ref}$ („10er-Linie“ im Neubau ab 2020) möglich. Aus Sicht der Studienautoren ist der Nachweis über den f_{GEE} und den derzeit definierten Grenzwerten $f_{GEE,max}$ wenig ambitioniert und wird daher im Wärmewende-Szenario ab 2021 nicht mehr möglich sein.

Gegenüber dem Referenzszenario wird im Wärmewende-Szenario unterstellt, dass die Vorgaben hinsichtlich des maximalen Heizwärmebedarfes (bezogen auf das österreichische Referenzklima) sowie des maximalen Primärenergiebedarfes und der maximalen CO_2 -Emissionen im Neubau wie auch bei der thermischen Sanierung von Bestandsgebäuden konsequent hinsichtlich deren Einhaltung überprüft werden. Alternativ kann bei Nichterreichung der Zielvorgaben eine Ersatzabgabe getätigt werden. Die Höhe der Ersatzabgabe pro m^2 ist so definiert, dass mehr als 95 % der betroffenen Flächen die Vorgaben erfüllen.

Finanzpolitische Begleitmaßnahmen

CO₂-Abgabe

Wie bereits oben dargestellt, wird im Wärmewende-Szenario ab 2025 eine CO_2 -Abgabe in der Höhe des CO_2 -Zertifikatspreises (2025: 25 €/t CO_2 , 2050: 200 €/t CO_2) eingeführt. Diese ist von allen Endenergieverbrauchern (sofern diese nicht ohnedies dem Emissionshandelssystem unterliegen) zu tätigen. Die spezifischen Emissionsfaktoren für Energieträger sind der OIB 6 Richtlinie 2015 (OIB, 2015) entnommen.

Fördermittel für thermische Sanierungen und erneuerbare Energieträger

Im Referenzszenario sinken die jährlich ausgeschütteten Fördermittel zur thermischen Gebäudesanierung und zur Nutzung von alternativen Heizungssystemen stetig ab. Im Wärmewende-Szenario wird ein Anstieg dieser Mittel ab 2030 unterstellt. Nominal betrachtet (ohne Inflationsbereinigung), werden im Wärmewende-Szenario in 2050 etwa 630 Mio. € für thermische Sanierungen und Kesseltausch im Gebäudebestand bereitgestellt. Inflationsbereinigt entspricht dies in etwa den derzeit jährlich

CO_2 -Emissionsfaktoren in der Stromerzeugung genau genommen eine weitere Verschärfung der derzeitigen Vorgaben dar. Mit zunehmender Dekarbonisierung der Stromerzeugung ist ein zunehmend geringerer Anteil der erlaubten CO_2 -Emissionen und des erlaubten Primärenergieverbrauches für den Stromverbrauch zu berücksichtigen. Daher dürfen gemäß der derzeitigen Regelung die CO_2 -Emissionen der Wärmeerzeugung bei konstanten Grenzwerten und variablen spezifischen Emissions- und Primärenergiefaktoren für die Stromerzeugung steigen.

ausgeschütteten Fördermitteln in diesem Bereich. Die Förderbudgets für den Neubau bleiben gegenüber dem Referenzszenario unverändert.

Die spezifischen Förderungen für die thermische Sanierung werden ebenfalls angepasst. Die Fördersätze verschieben sich ab 2021 zunehmend hin zur effizientesten Sanierungsvariante. Ab 2027 wird nur noch diese gefördert.

Informationskampagnen

Im Wärmewende-Szenario werden bewusstseinsbildende Maßnahmen ab 2020 unterstellt die dazu führen, dass Entscheidungsträger sich des stetigen Anstieges der Energiepreise sowie der CO₂-Abgabe bewusst werden. Dies führt dazu, dass diese in ihren Investitionsentscheidungen von steigenden Energiepreisen ausgehen und diese berücksichtigen. Ab 2025 wird daher bei Investitionen in Gebäudesanierungen, Neubau und Tausch des Heizungssystems von einer Energiepreissteigerungsrate von 2,5 % pro Jahr ausgegangen. Tatsächlich steigt der Preis des Energieträgers Erdgas im Wärmewende-Szenario ab 2025 mit 2,8 % p.a., der Preis von Heizöl mit etwa 3,5 % p.a. an.

2.2 Österreichische Entwicklung

2.2.1 Energieträger nach Haushalten

Die Entwicklung des Energieträgereinsatzes nach Haushalten im vergangenen Jahrzehnt ist in Abbildung 23 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass in etwa in einem Drittel der österreichischen Haushalte biogene Energieträger eingesetzt werden. Dies wird gefolgt von 1 bis 1,1 Millionen Haushalte, welche Erdgas bzw. Fernwärme einsetzen. Während die Anzahl der Haushalte die biogene Energieträger oder Erdgas einsetzen in den vergangenen 10 Jahren konstant geblieben ist, stieg der Anteil der Haushalte mit Fernwärmeversorgung seit 2003 kontinuierlich um 70 %⁹ an. Diese Zunahme sowie der Anstieg der Haushalte welche Wärmepumpen einsetzen ist einerseits auf eine Zunahme der gesamten Haushalte und der Haushalte welche mehr als einen Energieträger (neben elektrischem Strom) einsetzen zurückzuführen, andererseits aber auch zu wesentlichen Teilen auf den Rückgang von Heizöl und Kohle im österreichischen Wohngebäudebestand. Während im Mikrozensus 2005/2006 die Anzahl der Haushalte die Kohle oder Heizölprodukte einsetzen noch bei 1,2 Mio. Haushalte lag, reduzierte sich diese auf 850 tds. Haushalte in der Erhebung 2015/2016.

⁹ Bei einem Gesamtanstieg der österreichischen Haushalte um 12 % im Zeitraum 2003 bis 2016.

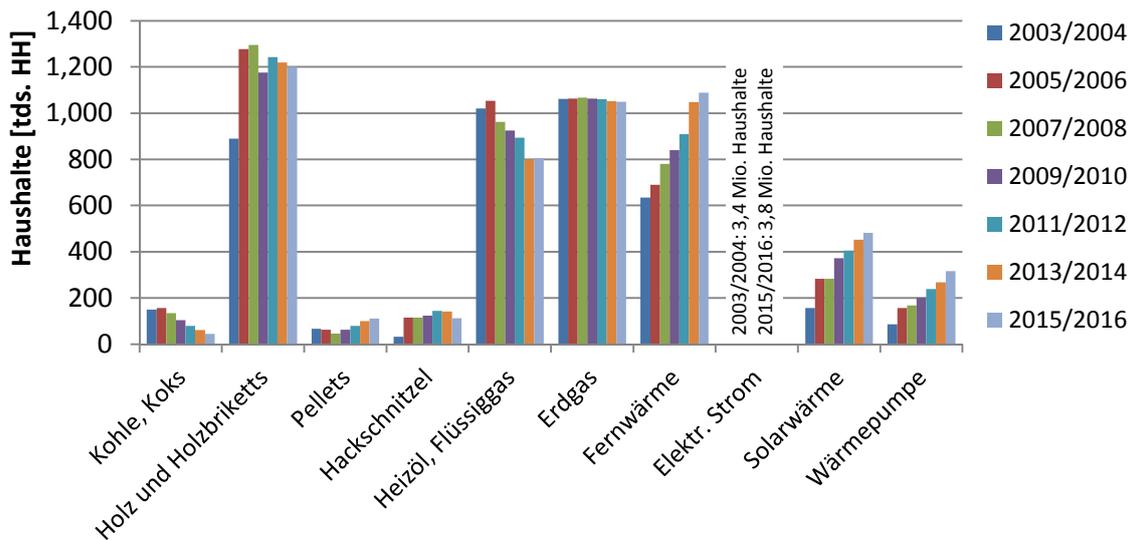


Abbildung 23. Anzahl der Haushalte nach Energieträger (Statistik Austria)

Noch eklatanter fällt der Rückgang von Kohle und Heizöl sowie der Anstieg von Fernwärmeversorgten Gebäuden aus, wenn Doppelzählungen von Energieträgern unberücksichtigt bleiben und die Anzahl der Haushalte lediglich dem Hauptenergieträger zur Raumwärmebereitstellung zugeordnet werden. Während in den Jahre 2005/2006 durchschnittlich noch etwa 85 % der Haushalte, welche Ölprodukte (Heizöl oder Flüssiggas) einsetzen dieses, dieses als Hauptenergiequelle zur Raumwärmebereitstellung nutzen, ist dieser Anteil in der Periode 2015/2016 auf etwa 75 % gesunken. Dasselbe gilt auch für den Energieträger Kohle. In der Periode 2005/2006 nutzen etwa 26 % aller Haushalte die Kohle einsetzen diesen noch als Hauptenergiequelle zum Heizen des Gebäudes. Dieser Anteil ist bis 2015/2016 auf 16 % gesunken.

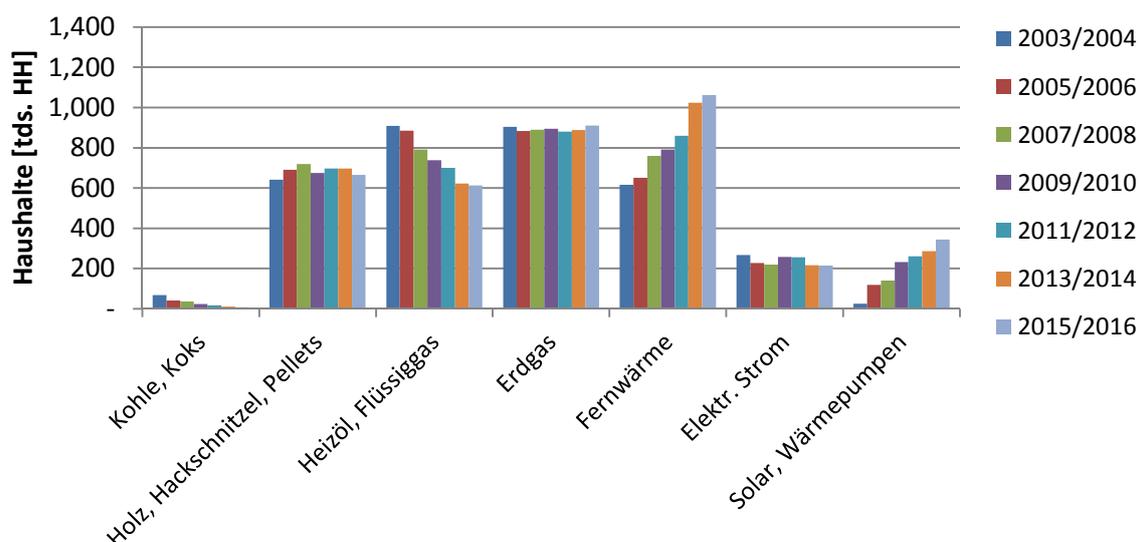


Abbildung 24. Anzahl der Haushalte nach Hauptenergieträger zur Raumwärmebereitstellung (Statistik Austria).

Gegenüber der durchschnittlichen Anzahl an Haushalten je Hauptenergieträger (Abbildung 25) im Zeitraum von 2005 bis 2016 liegen die Veränderungsraten bei Kohle bei -18 %p.a., bei Heizöl bei -4 %p.a. und bei elektrischen Direktheizungen bei etwa -1 % p.a. Die Anzahl der Haushalte, die vorwiegend biogene Energieträger oder Erdgas einsetzen, blieb im betrachteten Zeitraum in etwa konstant. Bei den Energieträgern Fernwärme konnte ein Anstieg von 5 %p.a., bei Wärmepumpen (und vollsolaren Gebäuden) ein Anstieg von 10 %p.a. beobachtet werden.

Damit versorgten die Energieträger Öl und Biomasse derzeit 16 % bzw. 17,5 % der Haushalte (Abbildung 25), die Anteile von Erdgas und Fernwärme liegen bei 24 % bzw. 28 %. Mit Stromdirektheizungen werden etwa 5,5 % der Haushalte beheizt, der Anteil von vollsolaren Haushalten und Haushalten mit Wärmepumpen liegt bei 9 %.

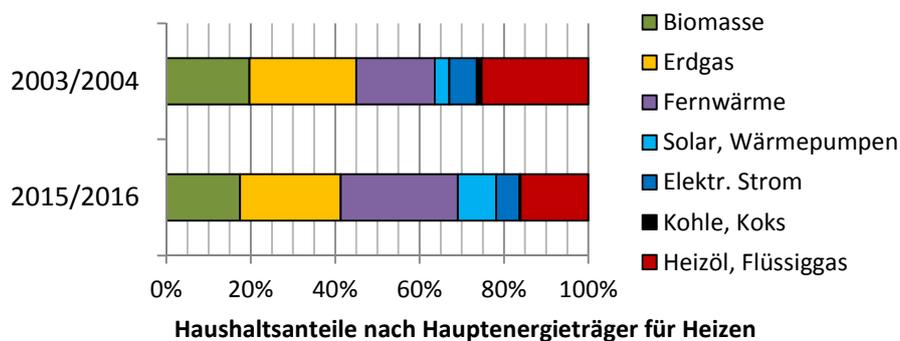


Abbildung 25. Anteil der Haushalte nach Hauptenergieträger zur Raumwärmebereitstellung (Statistik Austria).

2.2.2 Historischer Kesselmarkt und zukünftige Entwicklung der installierten Leistung nach Energieträgergruppen

Die oben dargestellten Entwicklungen finden sich auch in den jährlichen Verkaufszahlen der in Österreich verkauften Wärmeerzeugungsanlagen wieder (Abbildung 26). Gemessen an der Anzahl an verkauften Wärmeerzeugungsanlagen nehmen die Gaskessel mit Abstand am meist verkauften Anlagen ein. Pro Jahr werden etwa 45 bis 50 tausend Gaskessel und Gasthermen in Österreich verkauft. Allerdings ist die verkaufte Anzahl an Gasthermen und -kesseln nicht direkt mit denen anderer Technologien vergleichbar. Der Grund dafür liegt darin, dass ein großer Anteil der gasversorgten Wohnungen in Mehrgeschoßwohnbauten durch Wohnungszentral- und nicht wie bei den meisten anderen Technologien üblich durch Gebäudezentralheizungen versorgt wird. Der deutlich höhere Verkauf im Jahr 2015 wird in der Branche teilweise darauf zurückgeführt, dass manche Gasgeräte die in der Ökodesignrichtlinie für 2016 erforderlichen Mindesteffizienz nicht erreichen würden. Daher hätten sich einige Installateure in 2015 noch einen persönlichen Vorrat an solchen Geräten angelegt (VÖK, 2016).

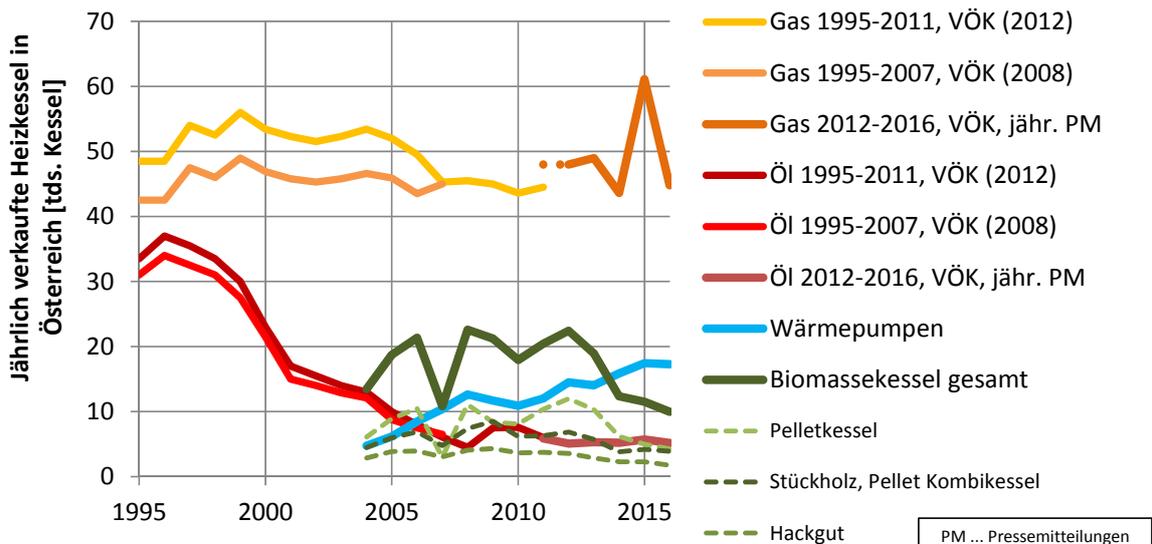


Abbildung 26. Statistik der jährlich am österreichischen Wärmemarkt verkauften Heizkesseln und Wärmepumpen

Aus den Verkaufszahlen ist auch der massive Rückgang an verkauften Ölheizungen deutlich erkennbar. Während vor 20 Jahren pro Jahr noch etwa 30- 35 tausende Ölkesseln verkauft wurden, nahmen die Verkaufszahlen seit 1996 stetig ab und liegen seit etwa 10 Jahren auf einem Niveau von etwa 5000 Kesseln pro Jahr. Ein massiver Anstieg in den Verkaufszahlen ist bei Wärmepumpen zur Raumwärmebereitstellung zu beobachten. Ausgehend von etwa 5000 Wärmepumpen (zur Raumwärmebereitstellung) im Jahr 2004 stiegen diese auf etwa 18 tds. verkauften Stück pro Jahr an. Biomassebefeuerte Heizkesseln lagen in den vergangenen 10 Jahren zunächst bei jährlich etwa 20 tds. Stück. Hier ist jedoch seit mehreren Jahren ein Einbruch auf derzeit etwa 10 tds. Stück gegeben.

Um die Kesselverkaufszahlen den Modellannahmen und Ergebnissen gegenüber stellen zu können, wurde ein einfaches Mengengerüst erstellt, dass aus den statistischen Gebäudedaten (und damit den Modellinputdaten) den erforderlichen Bedarf an jährlichen Wärmeerzeugungsanlagen skizziert. Dazu wurde angenommen, dass die in Bestandsgebäuden bestehenden Wärmeerzeugungsanlagen nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 30 Jahren (Stromdirektheizungen: 100 Jahre) ersetzt werden. Die sich dadurch ergebende jährliche Kesseltauschrates wurde für die Heizungssysteme in Gebäuden die vor 1991 angesetzt. Für Gebäude der Bauperiode von 1991 bis 2000 wurde die Hälfte dieser Kesseltauschrates angesetzt. Darüber hinaus wurden die in Tabelle 3 dargestellten Annahmen zum Anteil der Gebäudezentralheizungen (gegenüber Wohnungszentralheizungen) zur Umrechnung der Wohneinheiten in Kesselanlagen angesetzt. Als nächstes wurde der Bedarf an Wärmeerzeugungsanlagen in Neubauten unter Annahmen, dass ausschließlich Gebäudezentralheizungen eingesetzt werden abgeschätzt. Darüber hinaus erfolgte

eine einfache Abschätzung des Bedarfs an Wärmeerzeugungsanlagen in Nichtwohngebäuden.

Die Annahmen ergeben einen jährlichen Bedarf an Wärmeerzeugungsanlagen von etwa 100.000 Anlagen. Unter der Annahme, dass es in Bestandsgebäuden keinen (oder nur einen sehr geringen) Wechsel von Erdgas auf einen anderen Energieträger, bzw. von anderen Energieträgern auf Erdgas stattfindet, liegt der jährliche Bedarf an Erdgaskesseln und Gasetagenheizungen im Bereich von 42.000 Anlagen. Für die verbleibenden Energieträger ergibt sich ein jährlicher Bedarf von etwa 58.000 Wärmeerzeugungsanlagen und Fernwärmeanschlüssen.

Auch wenn der so errechnete Bedarf an Wärmeerzeugern und Wohneinheiten, welche den diesen jährlich ersetzen einer erheblichen Schwankungsbreite durch die vorhandenen Unsicherheiten unterliegt, so liegt das sich dadurch ergebende Ergebnis doch in derselben Größenordnung wie die jährlichen Verkaufszahlen von Heizkesseln und den zusätzlichen jährlichen Fernwärmeneuanschlüssen, wie sie sich durch aus den Mikroszensuserhebungen der Statistik Austria ableiten lassen.

Tabelle 3. Mengengerüst einer Abschätzung des erforderlichen Kesseltausches im österreichischen (Wohn-)Gebäudebestand.

	Erdgas	Strom direkt	Öl, Kohle, Biomasse	Gesamt
Ersatz an Wärmeerzeugungsanlagen in Bestandsgebäude				
Mehrfamilienwohngebäude, Bauperiode vor 1991				
Haushalte	711	116	246	1073
Jährliche Anzahl an Haushalten mit Kesseltausch ¹⁾	23,7	1,16	8,2	33,1
Jährlich zu tauschende Wärmeerzeugungsanlagen ²⁾	21,5	1,16	6,7	29,4
Mehrfamilienwohngebäude, Bauperiode 1991 bis 2000				
Haushalte	42,2	3,8	41,8	87,8
Jährliche Anzahl an Haushalten mit Kesseltausch ³⁾	0,7	0,02	0,7	1,4
Jährlich zu tauschende Wärmeerzeugungsanlagen ²⁾	0,64	0,02	0,09	0,8
Wohngebäude mit bis zu 2 Wohneinheiten, Bauperiode vor 1991				
Haushalte	163	88	941	1192
Jährliche Anzahl an Haushalten mit Kesseltausch ¹⁾	5,4	1,06	37,6	44,1
Jährlich zu tauschende Wärmeerzeugungsanlagen ⁴⁾	4,53	0,88	31,4	36,8
Wohngebäude mit bis zu 2 Wohneinheiten, Bauperiode 1991 bis 2000				
Haushalte	39,2	4	130	173,2
Jährliche Anzahl an Haushalten mit Kesseltausch ³⁾	1,3	0,04	4,3	5,6
Jährlich zu tauschende Wärmeerzeugungsanlagen ⁴⁾	1,1	0,03	3,6	4,7
Gesamt				
Jährliche Anzahl an Haushalten mit Kesseltausch	31,1	2,3	50,8	84,2
Jährlich zu ersetzende Wärmeerzeugungsanlagen	27,8	2,1	36,1	65,9
Bedarf an Wärmeerzeugungsanlagen in Neubauten (jährlicher Durchschnitt 2014 - 2016)				
Gebäudeanzahl				
Mehrfamilienwohngebäuden	2,7			2,7
Wohngebäude mit bis zu 2 Wohneinheiten	16			16
Wohneinheiten ⁵⁾				
Mehrfamilienwohngebäuden	17,6	0	17,6	35,2
Wohngebäude mit bis zu 2 Wohneinheiten	5,6	0	12,1	16
Bedarf an Wärmeversorgungsanlagen ⁴⁾				
Mehrfamilienwohngebäuden	1,4	0	1,4	2,8
Wohngebäude mit bis zu 2 Wohneinheiten	5,6	0	12,1	16
Gesamt				
Haushalte	23,2	0	29,7	51,2
Wärmeerzeuger	7	0	13,5	18,8
Gesamt Wohngebäude				
Haushalte	54,3	2,3	80,5	135,4
Wärmeerzeuger	37,8	2,1	49,5	84,7
Nichtwohngebäude				
Bedarf an Wärmeerzeugungsanlagen ⁶⁾	7,0	0,4	9,9	16,9
Bedarf Anzahl an Wärmeerzeugern (bzw. Fernwärmeanschlüssen)				
	41,8	2,5	59,5	101,7
Annahmen:				
1) Jährliche Kesseltauschrate in Gebäude mit Bauperiode vor 1990: 1/30, bei Direktstromheizungen: 1/100				
2) Etagenheizungen (Wohnungszentralheizungen) oder Einzelöfen (es wird ein Ofen pro Wohneinheit gezählt) bei Verwendung von Erdgas: 90 %, Direktstromheizungen: 100%, Öl, Kohle und Biomasse: 5%, die verbleibenden Wohneinheiten sind Gebäudezentralheizungen versorgt				
3) Jährliche Kesseltauschrate in Gebäude mit Bauperiode 1991 bis 2000: 50% * 1/30, bei Direktstromheizungen: 50% * 1/100				
4) Anteil an Gebäudezentralheizungen: 100 %				
5) Eigene Annahme: Anteil von Erdgas in Neubauten: 50 % in Mehrfamilienwohngebäuden, 35 % in Wohngebäuden mit bis zu zwei Wohneinheiten				
6) Vereinfachte Annahme: 20 % der Wohngebäude. Wärmebedarf von Nichtwohngebäuden liegt in der Größenordnung von 50 % des Wohngebäudebereiches, der Anteil der Gebäudezentralheizungen ist allerdings höher.				

In Abbildung 27 ist ein Vergleich der aus den Verkaufs- (2005 bis 2016) erhobenen jährlichen Anzahl an Haushalten, in denen ein neuer Heizkessel bzw. Fernwärmeanschluss installiert wird und den sich im Modell für die Periode 2017 bis 2030 ergebenden Installationen dargestellt. Grundsätzlich tendiert das Modell zur einer leichten Unterschätzung der Fernwärmeanschlüsse und neu installierten Gaskesseln.

Die Unterschätzung der neu installierten Fernwärmeanschlüsse des Modells konnte auch bereits in vergangenen Szenarien beobachtet werden. Es zeigte sich, dass die Modellergebnisse zumeist nicht mit dem beobachteten Anstieg des Fernwärmebedarfs in der Periode seit 2005 Schritt halten konnte. Unsererseits wird dies vorrangig auf den koordinierten „großflächigen“ Austausch von Heizungsanlagen, die mit Neu- oder Ausbauprojekten von Fernwärme einhergehen zurückgeführt. Mittelfristig pendeln sich die Modellergebnisse im Bereich der Fernwärme ungeachtet dieses Defizites in den Startjahren auf ein gewisses Sättigungsniveau ein.

Der Unterschied in der Anzahl der Gaskessel lässt sich teilweise auf etwa längere Lebensdauern für Gaskessel in den Modelldaten (~35 Jahre) bzw. auf Unsicherheiten in der Kalibrierung der historischen Installationszeitpunkte der Kessel, zurückführen.

Nach 2030 ist davon auszugehen, dass die Anzahl an jährlich installierten Wärmepumpen weiter steigen müsste, während die Anzahl an Biomasse-Heizungen in etwa auf dem Niveau von 2030 zu halten wäre.

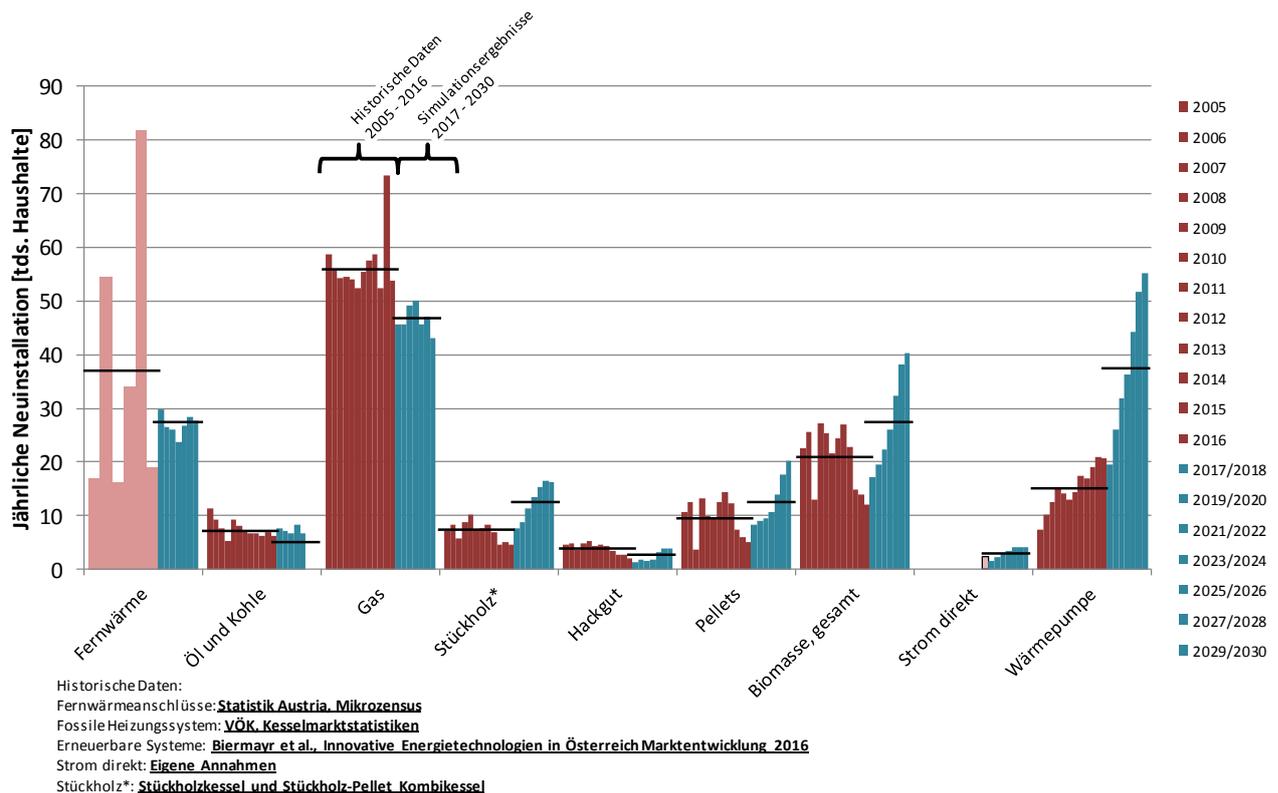


Abbildung 27. Gegenüberstellung der historischen Neuinstallationen 2005 bis 2016 und Modellergebnissen im Wärmewende-Szenario von 2017 bis 2030.

Darüber hinaus zeigen die Modellergebnisse in der Anfangsperiode eine grundsätzlich zufriedenstellende Übereinstimmung mit den historischen Neuinstallationen. Mittelfristig zeigen die Ergebnisse einen signifikanten Anstieg an neu installierten Biomasse befeuerten Wärmeerzeugungsanlagen. Dieser Anstieg ist einerseits auf den Ersatz von bestehenden biogen befeuerten Kesseln, den Ersatz von Öl befeuerten Heizkesseln sowie den erhöhten Anforderungen der OIB Richtlinie 330.6-009/15 hinsichtlich maximaler CO₂-Emissionen geschuldet.

Eine Übersicht über die die jährlichen Installationen und den durchschnittlichen Gebäudeeigenschaften in denen entsprechend den Modellergebnissen bis 2020 neu installierte Wärmeerzeugungsanlagen bzw. Fernwärmeanschlüsse eingesetzt werden zeigt Abbildung 28. Entsprechend der Modellergebnisse werden Erdgaskessel jährlich in etwa 28 tds. Gebäuden neu installiert; die durchschnittliche Anzahl an Wohneinheiten pro Gebäude von etwa 3,4 liegt höher als die aller anderen Energieträger. Gleichzeitig wird die durchschnittliche Heizlast je Wohneinheit nur von Gebäuden die mit einer Wärmepumpentechnologie versorgt werden, unterboten. Fernwärme wird ebenfalls bevorzugt in größeren Gebäuden eingesetzt, die durchschnittliche Anzahl an Wohneinheiten je Gebäude liegt bei etwa 2,8. Die durchschnittliche Heizlast der Gebäude liegt mit etwa 42 kW im Bereich der Gebäude die mit Erdgas versorgt werden. Im Modell werden Gebäuden die eine besonders hohe Heizlast aufweisen, bevorzugt Hackgutheizungen zugeordnet. Die

durchschnittliche Heizlast liegt mit knapp 80 kW deutlich über den Werten von anderen Technologien. Auf der anderen Seite des Spektrums liegen die Gebäude die mit einer Wärmepumpentechnologie versorgt werden. Obwohl die durchschnittliche Anzahl an Wohneinheiten je Gebäude in derselben Größenordnung wie die von Gebäuden die mit Hackgut, Pellets oder Direktstromheizungen versorgt werden liegt, werden damit vorzugsweise energieeffiziente Gebäude versorgt die dadurch eine niedrige Heizlast je Wohneinheit aufweisen. Stückholzkessel werden wiederum bevorzugt in Wohngebäuden mit ein oder zwei Wohneinheiten installiert die gleichzeitig einen relativ hohen Wärmebedarf je Wohneinheit aufweisen.

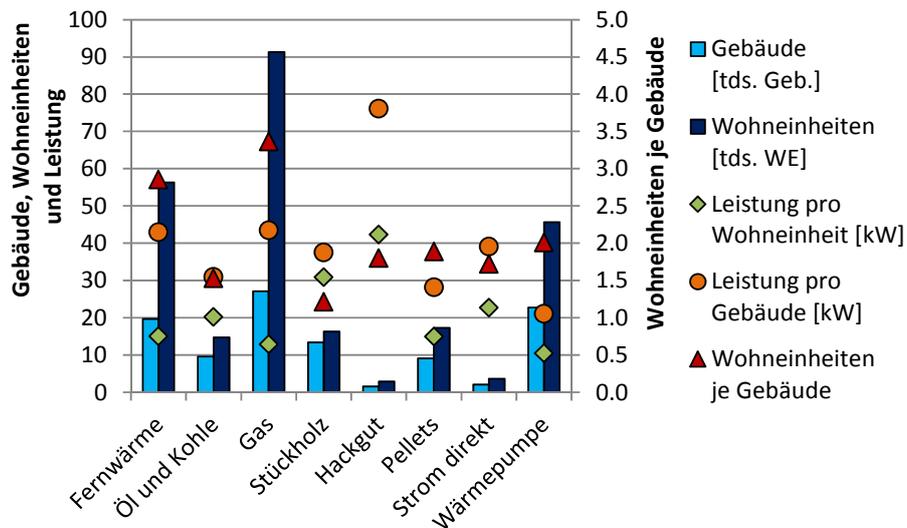


Abbildung 28. Durchschnittliche jährliche Neuinstallationen im Wärmewende-Szenario von 2016 bis 2020.

Ausgehend von der oben dargestellten Kalibrierung der Modellergebnisse bewirken die Änderungen im Gebäudebestand sowie die implementierten energiepolitischen Maßnahmen langfristige Änderungen im Wärmebedarf des österreichischen Gebäudebestandes sowie den eingesetzten Energieträgern zu dessen Versorgung.

Abbildung 29 zeigt die Entwicklung der kumuliert installierten Wärmeleistung (linke Grafik) sowie die jährlichen Anteile (rechte Grafik) in Gebäuden die ab 2017 errichtet werden bis 2050. Zunächst werden etwa jeweils 1/3 des Leistungsbedarfes durch Fernwärme, fossile befeuerte Wärmeerzeuger (Erdgas, Heizölprodukte) und Systeme, die erneuerbare Energieträger nutzen (Wärmepumpe, Biomassekessel), in Neubauten installiert. In weiterer Folge nimmt die Anteil der Wärmepumpentechnologie stetig zu. Ab 2045 werden in diesem Szenario jährlich etwa 70 % der Neubauten mit Wärmepumpentechnologie ausgestattet. Im Gegenzug werden durch energiepolitische Maßnahmen, insbesondere ab der Mitte des kommenden Jahrzehntes fossile Heizungssysteme im Neubau stark aus den Markt gedrängt. In weiterer Folge nimmt auch der Anteil der Neubauten, die mit Fernwärme

versorgt werden ab. Ausgehend von einem Anteil von etwa 30 % vor 2030, sinkt dieser auf etwa 15 % in 2050 sukzessive ab. Insgesamt liegt in diesem Szenario der Leistungsbedarf von Neubauten (ab 2017) bis 2050 bei etwa 5,5 GW thermischer Nennleistung.

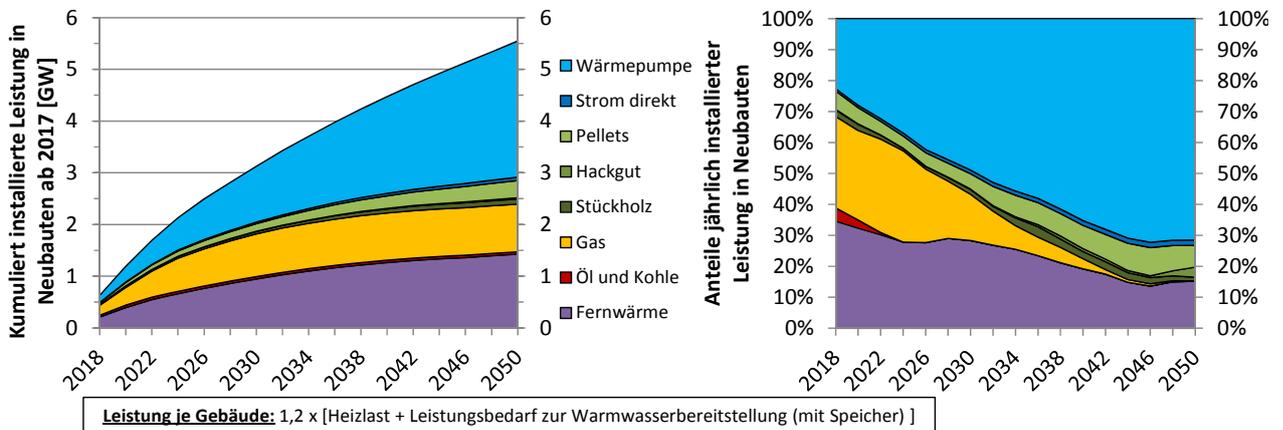


Abbildung 29. Kumuliert installierte Nennleistung (linke Grafik) von Wärmeversorgungsanlagen in Neubauten von 2017 bis 2050 und Aufteilung der jährlichen Nennleistung¹⁰ nach Energieträgern in Neubauten.

Ein etwas anderes Bild (Abbildung 30) zeigt sich, wenn nicht nur die Installationen in Neubauten, sondern auch der Ersatz in Bestandsgebäuden betrachtet wird. Einerseits übersteigt der kumulierte Leistungsbedarf bis 2050 (Neubauten und Bestandsgebäude) der Neubauten um den Faktor 7. Das bedeutet die Nennleistung die in Bestandsgebäuden neu installiert wird, ist 6-mal höher als die Leistung in Neubauten. Andererseits unterscheidet sich aber auch der Anteil der eingesetzten Energieträger deutlich von dem in Neubauten. Auch hier steigt der Anteil von Wärmepumpen erheblich an. Allerdings nimmt dieser kumuliert nicht wie bei Neubauten einen Anteil von 50 %¹⁰ (Abbildung 30, linke Grafik) ein, sondern lediglich etwa 25 %¹⁰. Heizungssystemen auf Basis biogener Energieträger stellen kumuliert etwa 35 %¹⁰ der Leistung bereit. Ab 2025 liegt der jährliche Anteil an Fernwärmeneuanschlüssen konstant bei etwa 15 %¹⁰ kumuliert wird etwas unter 20 %¹⁰ der installierten Leistung bis 2050 von Fernwärme bereitgestellt.

¹⁰ Ohne Berücksichtigung der Leistung die durch Solarthermie und PV zur Wärmeerzeugung installiert wird.

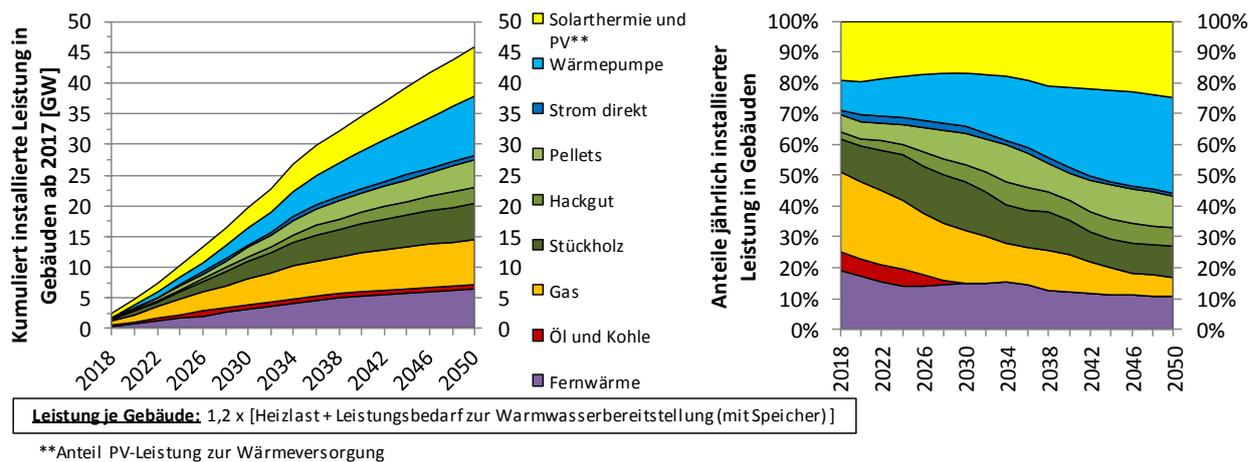


Abbildung 30. Kumuliert installierte Nennleistung (linke Grafik) von Wärmeversorgungsanlagen in allen Gebäude bis 2050 und Aufteilung der jährlichen Nennleistung nach Energieträgern.

2.2.3 Entwicklung des Energieträgereinsatzes in Haushalten und der damit versorgten Flächen

Dieser Abschnitt widmet sich der Entwicklung des Gesamtbestandes an Wärmeerzeugungsanlagen und den damit versorgten Haushalten und dem Einfluss den die neu installierten Wärmeerzeugungsanlagen auf dessen Entwicklung hat. Dazu wurde die Entwicklung der mit bestimmten Energieträgern versorgten Haushalte ausgewertet und in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Darin sind einerseits die Entwicklung der Gesamtanzahl an Haushalten nach Energieträgern, aber auch der Anteil der Haushalte, die mit einem Wärmeerzeugungssystem versorgt werden, das nach 2016 installiert wurde getrennt ausgewiesen.

Abbildung 31 widmet sich den fossilen Heizungssystemen und den Direktstromheizungen. Die Daten des Mikrozensus zeigen, dass die Gesamtanzahl der vorrangig mit diesen Energieträgern zur Raumwärmebereitstellung versorgten Haushalte in den vergangenen 10 bis 15 Jahren stetig abnahm. Die Anzahl der mit Erdgas versorgten Haushalte nahm leicht zu, die mit Direktstromheizungen versorgten Haushalte nahmen in selben Ausmaß ab. Im Wärmewende-Szenario setzt sich dieser Trend (mittelfristig) fort. Direktstromheizungen nehmen im Szenario stetig ab. Ebenso findet zunächst ein kontinuierlicher Rückgang der mit Öl beheizten Haushalte statt. Ab etwa 2030 beginnt die im Szenario hinterlegte Ersatzpflicht für ältere Ölkessel zu greifen. Dadurch werden bis 2040 weitgehend, bis 2050 vollständig aus den Gebäudebestand entfernt.

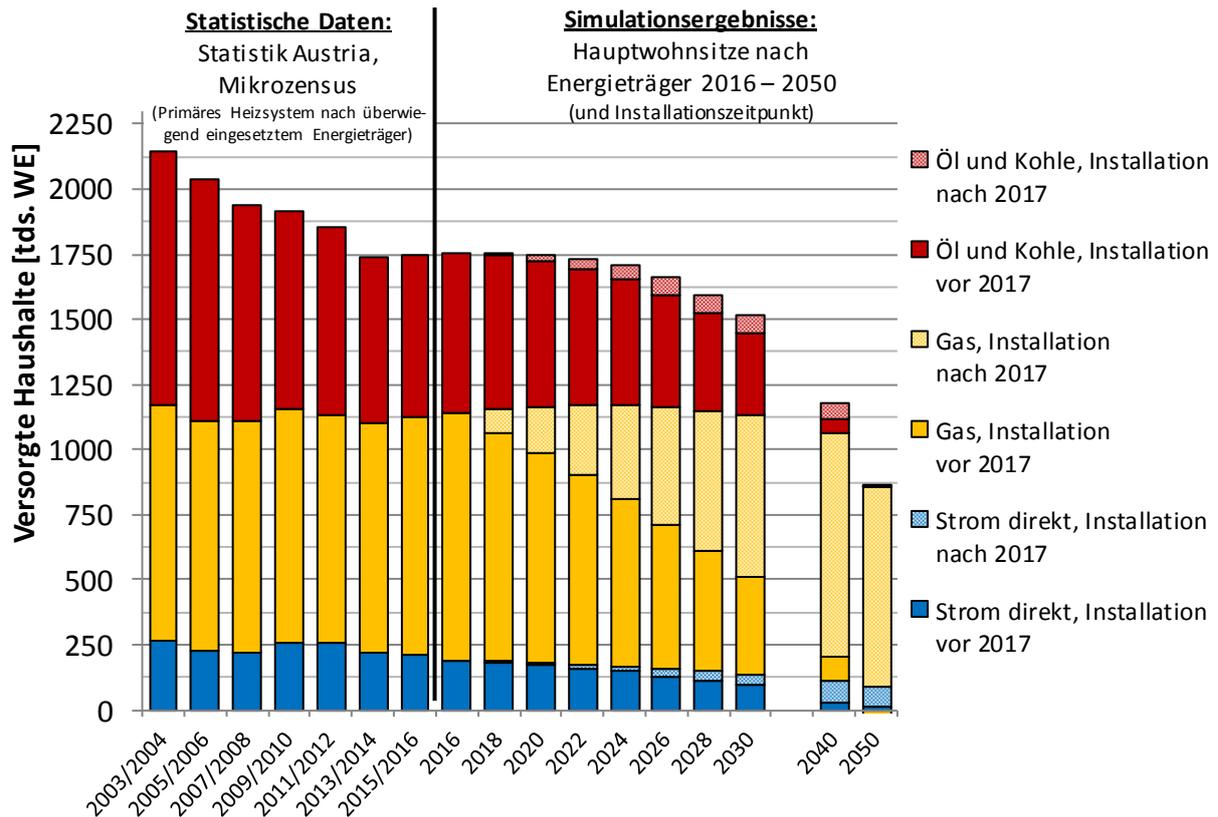


Abbildung 31. Entwicklung der Anzahl an Haushalte (Hauptwohnsitze) im Wärmewende-Szenario die mit Heizöl (inkl. Flüssiggas) und Kohle, Erdgas oder Direktstromheizungen (inkl. Infrarotheizungen) beheizt werden.

Die Anzahl der Haushalte, die auf mit Gas befeuerte Kessel setzen, nimmt zunächst bis etwa 2025 noch leicht zu, gefolgt von einer Stagnationsphase bis 2040 und einem Rückgang ab 2040. Aus der Abbildung wird auch ersichtlich, dass die Neuinstallation von Gaskesseln vorwiegend bestehende Gaskessel ersetzen. Im Zeitraum bis 2030 sind etwa 60 % der bereits heute installierten Gaskessel ausgetauscht, bis 2040 sind nur noch 10 % der bereits heute installierten Systeme in Betrieb.

Die Entwicklung der mit Biomasse beheizten Haushalte ist in Abbildung 32 dargestellt. Im hier dargestellten Wärmewende-Szenario bleibt die Anzahl der Haushalte bis etwa 2025 annähernd konstant; die Neuinstallationen kompensieren im Wesentlichen den Austausch von bereits bestehenden Anlagen. Innerhalb der Biomassefraktionen ist ein Rückgang von Stückholzkesseln und Ersatz durch Pelletkessel zu verzeichnen. Ab etwa 2025 wird durch den im Szenario energiepolitisch forcierten Austausch von alten Ölkesseln sowie erhöhten Barrieren bei der Installation von neuen Erdgaskesseln (mit Ausnahme der in Kapitel 2.1 beschriebenen Ausnahmen) ein Anstieg der mit Biomasse beheizten Gebäude erzielt. In 2050 werden in diesem Szenario etwa 1,1 Mio. Haushalte mit biogenen Energieträgern beheizt. Die Differenz gegenüber dem Status quo entspricht in etwa der derzeitigen Anzahl an Haushalten die mit Heizöl beheizt werden.

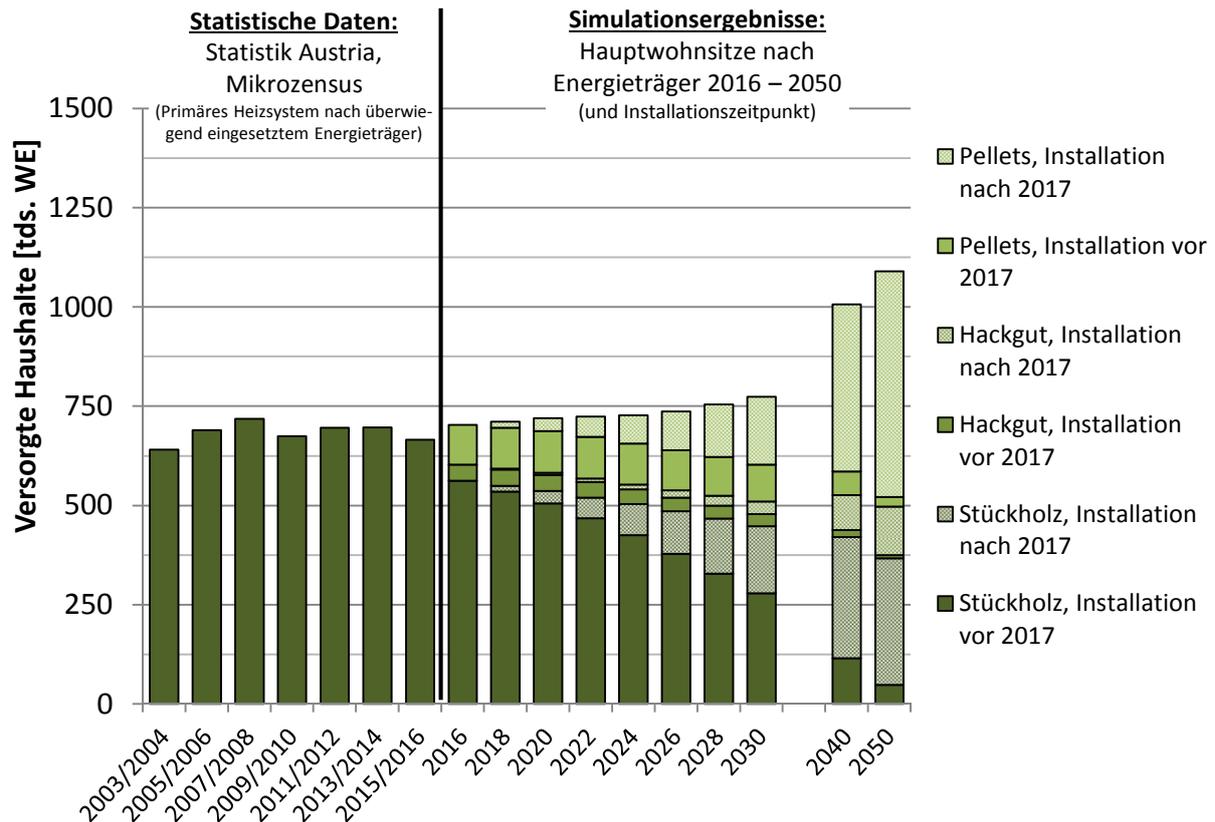


Abbildung 32. Entwicklung der Anzahl an Haushalten (Hauptwohnsitze) im Wärmewende-Szenario von einem Hauptheizungssystem mit biogenen Brennstoffen befeuert wird.

Abbildung 33 zeigt die Entwicklung der Haushalte die mit Fernwärme oder Wärmepumpen versorgt werden. In den vergangenen 10 bis 15 Jahren wurde durch die Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnologie sowie dem rapiden Ausbau von Fern- und Nahwärme in Österreich eine Verdoppelung der damit versorgten Haushalte erzielt. Diese Dynamik schreibt sich auch im Wärmewende-Szenario fort. Die Anzahl der an Fernwärme angeschlossenen Haushalte steigt bis etwa 2040 noch um 30 % an. Wärmepumpen erfahren einen Ausbau um den Faktor 6 und versorgen im Wärmewende-Szenario in 2050 etwa 1,8 Millionen Haushalte, was einem Anteil von etwa 37 % der Haushalte in 2050¹¹ entspricht.

¹¹ Die Anzahl der Haushalte erhöht sich bis 2050 u.a. aufgrund einer geringeren Anzahl an Personen pro Haushalt.

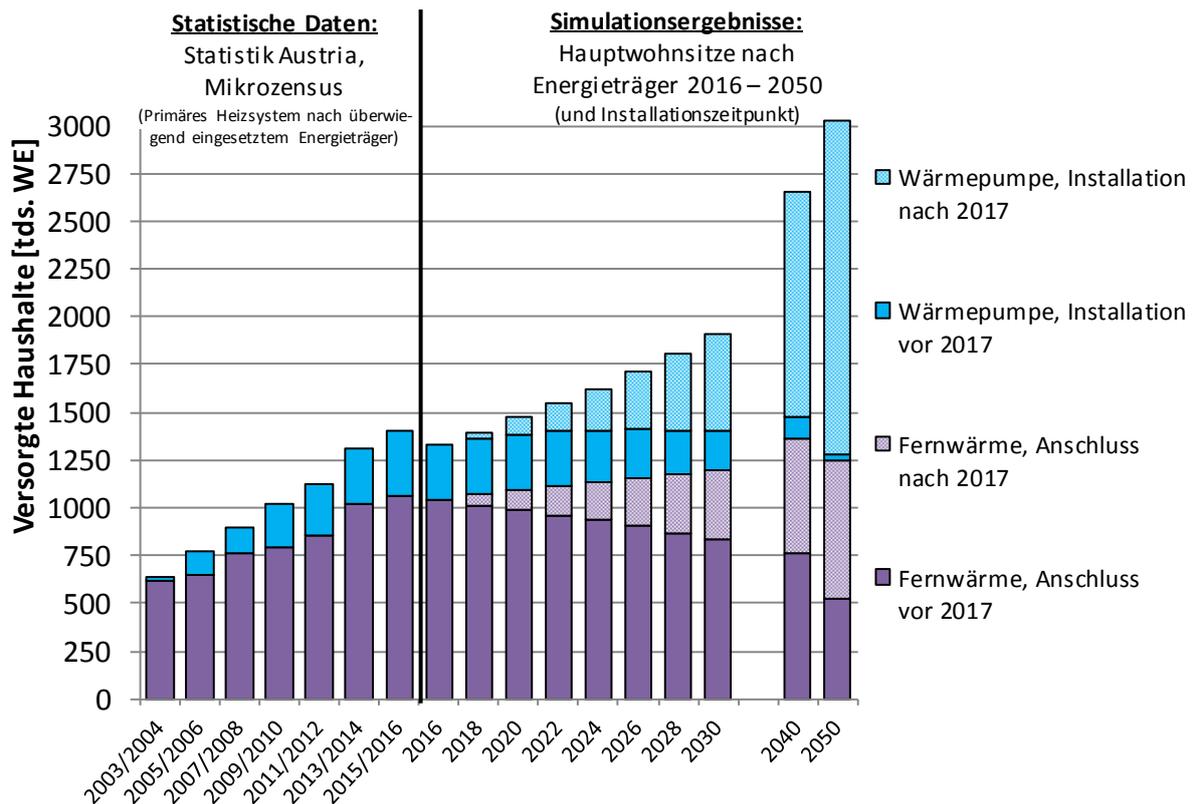


Abbildung 33. Entwicklung der Anzahl an Haushalte (Hauptwohnsitze) im Wärmewende-Szenario die durch Fernwärme (inkl. Nahwärme) oder Wärmepumpen beheizt werden.

2.2.4 Entwicklung der versorgten Gebäudeflächen und des Endenergieträgereinsatzes im österreichischen Gebäudebestand

Nachdem oben die Entwicklung der Haushalte nach Energieträgern dargestellt wurde, wird im Folgenden die Entwicklung des gesamten österreichischen Gebäudesektors inklusive der Gebäude des Dienstleistungssektors und der Industrie betrachtet.

Die derzeitige gesamte beheizte Gebäudegrundfläche liegt derzeit (2017) gemäß (Müller et al., 2017) im Bereich von etwa 720 km² (Mio. m²). Diese steigt im Szenario in den nächsten Jahren durchschnittlich um etwa 6,5 km² pro Jahr. Würde dieser jährliche Zuwachs nur auf den Wohngebäudesektor umgelegt werden, so entspräche dies umgerechnet in etwa einem jährlichen Flächenzuwachs im Bereich von 65.000 Haushalten. Durch geringere Bevölkerungszuwachsraten sowie der Annahme im Wärmewende-Szenario, dass Neubauten im Wärmewende-Szenario ab 2025 um 25 % kleiner¹² ausgeführt werden reduziert sich der jährliche Flächenzuwachs in der Periode von 2025 bis 2050 auf durchschnittliche 2,7 km².

Werden die Energieträger nach den beheizten Flächen betrachtet, ergeben sich die in Abbildung 34 dargestellten Entwicklungen. Biogene Energieträger Verdoppeln in dem

¹² Bezogen auf Personen pro Haushalt bzw. Wertschöpfung

betrachteten Zeitraum in etwa die versorgten Flächen, die mit Fernwärme versorgten Flächen steigen um etwa 20 % an. Im Gegenzug reduzieren sich die Gebäudeflächen die mit gasförmigen Energieträgern (derzeit praktisch ausschließlich Erdgas) bzw. Öl, Kohle und Stromdirektheizungen beheizt werden um 2/3. Der größte Zuwachs ergibt sich im Szenario für die Wärmepumpentechnologie. In 2050 werden im Szenario in etwa 275 km² mit Wärmepumpen beheizt. Damit liegt diese Technologie, bezogen auf die versorgten Flächen, noch vor Biomasse (dezentrale Kessel, 235 km²) und Fernwärme (210 km²).

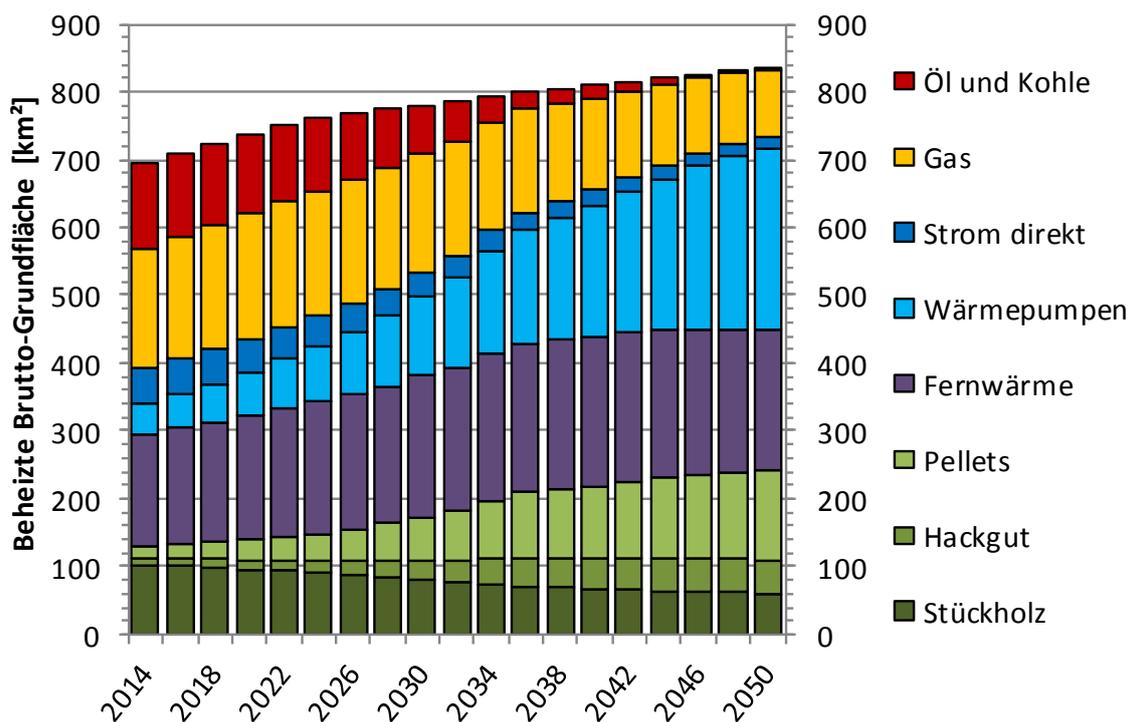


Abbildung 34. Entwicklung der beheizten Brutto-Grundflächen im Wärmewende-Szenario

Energetisch halbiert sich die Energienachfrage im Wärmewende-Szenario von derzeit knapp 100 TWh auf 52 TWh bis 2050. Davon stellen dezentrale Biomassetechnologien, Fernwärme und Wärmepumpen (Summe aus Umgebungswärmeanteil und Strom) jeweils in etwa 25 % der Energie bereit. Die verbleibende Energiemenge wird jeweils zur Hälfte durch dezentrale Solartechnologien (Solarthermie und PV-Strom) bereitgestellt.

Zusätzlich wird im Szenario der Energieträger Erdgas zunehmend durch andere, erneuerbare und CO₂-neutrale Energieträger wie Biomethan und regenerativer Wasserstoff ersetzt. Um den fossilen Energieträger Erdgas im Gebäudebereich vollständig zu ersetzen, müsste ein solches CO₂-neutrales Gasgemisch im

Wärmewende-Szenario in 2050 etwa 5900 GWh¹³ (bezogen auf den Heizwert) an Endenergie bereitstellen.

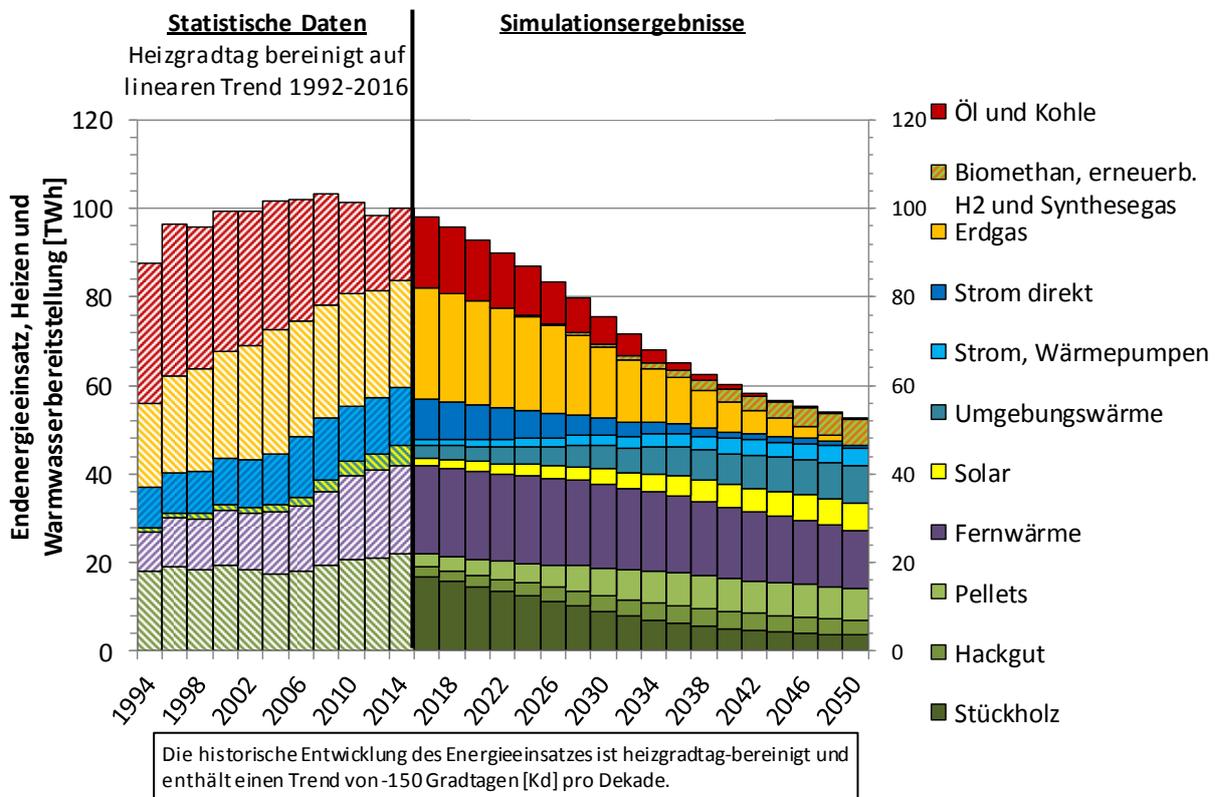


Abbildung 35. Entwicklung des Endenergieeinsatzes im Wärmewende-Szenario

Ein Mengengerüst für den Bedarf an CO₂-neutralen Energieträgern könnte wie folgt aussehen. Grundsätzlich wird dazu angenommen, dass dazu ein Gemisch aus Methan (CH₄) und Wasserstoff (H₂) verwendet wird. Für den Anteil an Wasserstoff wird ein Anteil von 50 %vol (Volumsprozente) angenommen. Diesen Wasserstoffanteil wiesen auch typischer Weise die Stadtgase (Wiener Gaswerk Simmering: 51 % H₂, 21 % CH₄, 15 % N₂, 9 % CO), welcher ab Mitte des 19. Jahrhunderts Städte mit Gas aus Kohlevergasung, bzw. Wassergase (50 % H₂, 50 % CO), welche ab Mitte des 20. Jahrhunderts zunehmend eingesetzt wurden, auf. Aufgrund des geringeren volumenspezifischen Brennwertes von Wasserstoff (H_o = 3,54 kWh/Nm³) gegenüber Methan (H_o = 11,06 kWh/Nm³) hätte ein solches Gasgemisch einen Brennwert von 7,3 kWh/Nm³, bzw. einen Heizwert von 6,48 kWh/Nm³. Der oben dargestellte Endenergieverbrauch von gasförmigen Energieträgern von 5855 GWh bezieht sich auf den Heizwert von Erdgas. Wird dieser Verbrauch um das größere Brennwert-zu-Heizwertverhältnis von Wasserstoff gegenüber Methan korrigiert, so ergibt sich für ein H₂-CH₄ Gemisch von jeweils 50 % ein Heizwertäquivalent von 6,59 kWh/Nm³. Der

¹³ 5855 GWh

energetische Anteil, den in diesem Fall Wasserstoff beitragen würde, läge bei etwa 25 %, 75 % des Energiegehaltes würden vom Energieträger Methan (CH₄) stammen.

Um die 5855 GWh Bedarf an Gas im Wärmewende-Szenario in 2050 mit diesem H₂-CH₄ Gasgemisch bereitzustellen, sind knapp 900 Mio. Nm³ notwendig, davon wären jeweils 450 Nm³ CH₄ bzw. H₂.

In einer Studie des Energieinstitutes an der JKU Linz (Tichler, 2017) wurden die möglichen Biomethanertragspotentiale aus Reststoffen in Österreich für 2030 erhoben (Abbildung 36). Für Österreich ergibt sich daraus ein Gesamtpotential von etwa 14500 GWh.

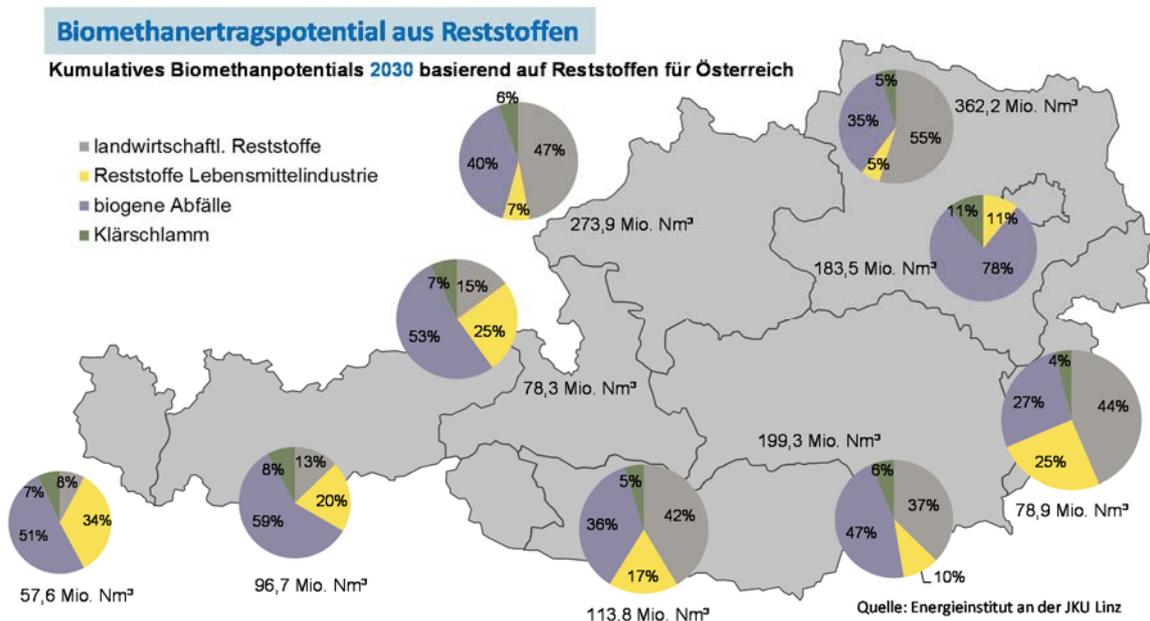


Abbildung 36. Biomethanertragspotentiale 2030 in Österreich. (Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz)

Eine Gegenüberstellung des in der Studie des Energieinstitutes an der JKU Linz ermittelten Potentials mit dem Bedarf, der sich im Wärmewende-Szenario in 2050 in Gebäuden zur Raumwärme und Warmwasserversorgung ergibt zeigt, dass etwa 30 % des Potentials in Gasnetze eingespeist werden und vom Gebäudesektor verwendet werden müsste (Abbildung 37). Weiters geht aus der Analyse hervor, dass basierend auf dieser Studie, die hier aufgestellte Jahresbilanz auch auf Ebene der Bundesländer geschlossen werden kann. Mit Ausnahme von Wien liegt der so ermittelte Bedarf in allen Bundesländern im Bereich von unter 35 % des Potentials.

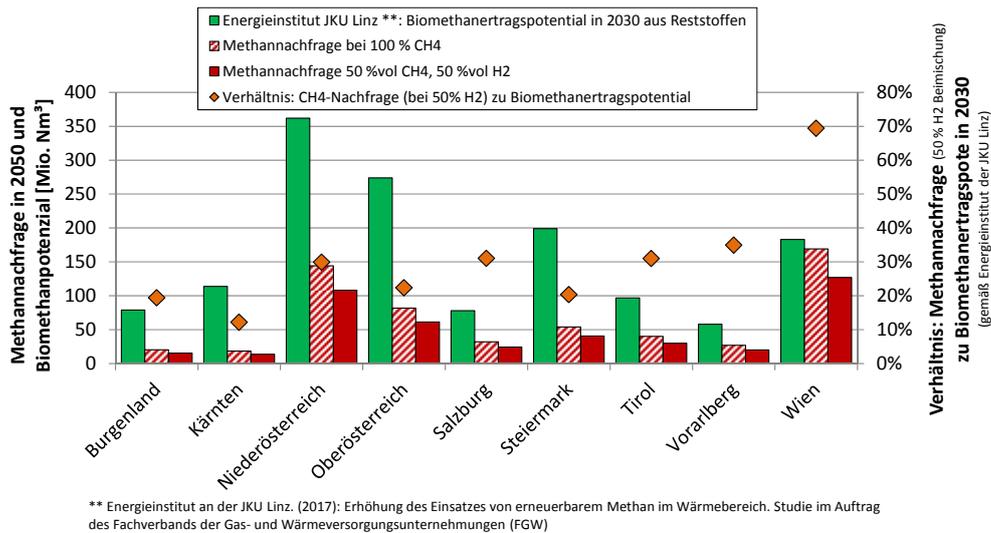


Abbildung 37. Gegenüberstellung der Biomethanpotentials aus Reststoffen und Methanbedarf zur Raumwärme und Warmwasserversorgung in österreichischen Gebäude im Wärmewende-Szenario in 2050.

Gleichzeitig ist zu betonen, dass die in der Studie der JKU Linz erhobenen Biomethanpotentiale durchaus auch als optimistisch bewertet werden. In einer Abschätzung der ARGE Kompost und Biogas werden die Biogas-Potentiale, welche ins Netz eingespeist werden können, mit etwa 750 Mio. Nm³ bewertet. Dies würde bedeuten, dass das der Raumwärmesektor im Wärmewende-Szenario etwa 60 % der in dieser Studie angeführten Potentiale in 2050 ausschöpft.

Noch restriktiver bewertet die Studie der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH mit Focus auf Biogaspotential aus Reststoffen die einspeisbaren Biomethanmengen. Während die Biogaspotentiale in dieser Studie mit etwa knapp 2800 Mio. Nm³ noch sehr deutlich den Bedarf im Wärmewende-Szenario überschreiten, reduzieren sich die einspeisbaren Biomethanmengen unter Berücksichtigung der regionalen Verteilung sowie des jährlichen Gasverbrauchsprofils (ohne Berücksichtigung von saisonaler Speicherung von Biomethan) auf etwa 150 Mio. Nm³. Damit würde der Bedarf an Biomethan im Wärmewende-Szenario das Potential dieser Studie um den Faktor 3 übersteigen.

Daraus wird ersichtlich, wie sehr die Gasversorgung aus Biomethan beschränkt ist. Umso wichtiger ist es, den zu erwarteten Restgasbedarf so gering als möglich zu halten, da davon ausgegangen werden kann, dass in einem derartigen Dekarbonisierungsszenario andere Sektoren ebenfalls Bedarf nach erneuerbarem Gas zeigen.

2.2.5 Entwicklung des Primärenergieeinsatzes und der CO₂-Emissionen im Wärmewende-Szenario

Unter Berücksichtigung des Energieeinsatzes in den Bereitstellungsvorketten der Endenergieträger, liegt der derzeitige Primärenergieeinsatz für Raumwärme und Warmwasserbereitstellung in Österreich bei etwa 130 TWh. Davon stammen etwa 2/3 aus fossilen Energiequellen. Die damit verbundenen Treibhausgas (THG)–Emissionen belaufen sich, gemäß den in der OIB-Richtlinie 6 (2015) definierten Faktoren, auf knapp 18 Mt CO₂. Würden sich im zukünftigen Energiesystem keine Änderungen in den Vorstufen ergeben, allen voran in der Strom- und Fernwärmeerzeugung, so würde sich der Primärenergiebedarf auf etwa 40 TWh reduzieren, davon würde die Hälfte aus fossilen Energiequellen stammen. Die THG-Emissionen würden sich auf 4,7 Mt CO₂ reduzieren, was einer Reduktion von 75 % entspricht.

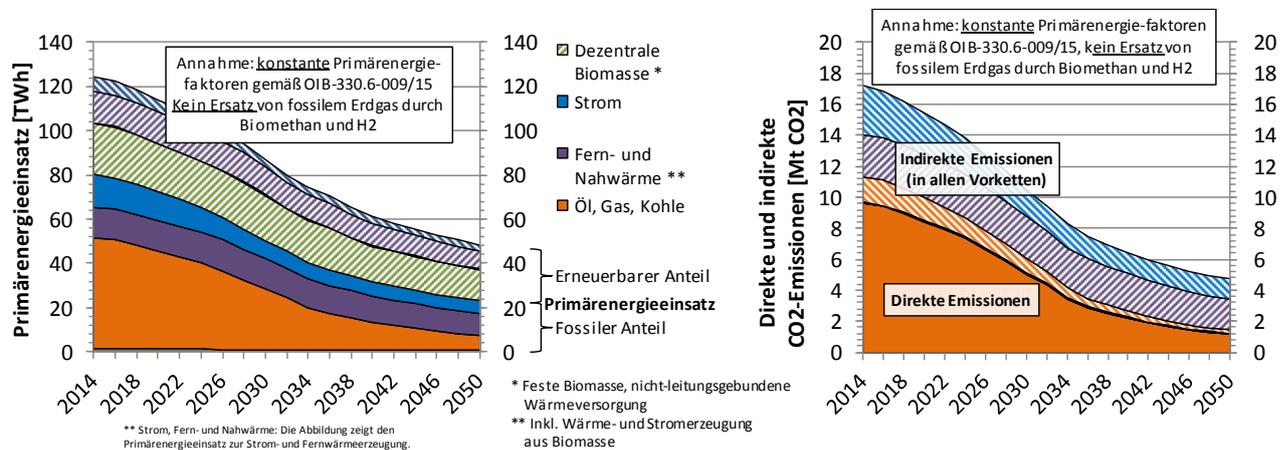
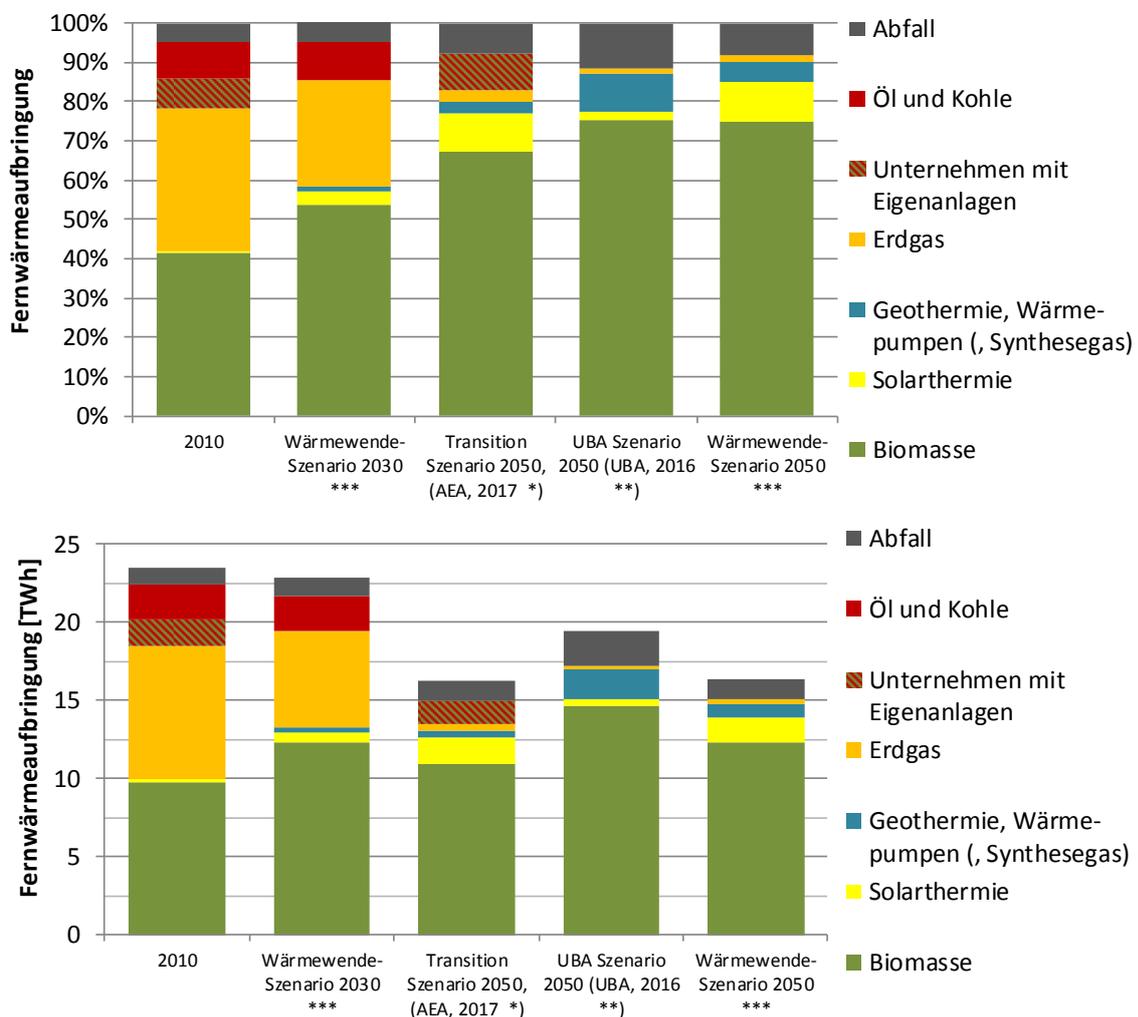


Abbildung 38. Entwicklung des erneuerbaren und fossilen Primärenergieeinsatzes (links) und der direkten und indirekten CO₂-Emissionen (rechts) im Wärmewende-Szenario unter der Annahme konstanter Primäre- und CO₂-Emissionsfaktoren gemäß OIB Richtlinie 330.6-009/15. Die indirekten Emissionen und Primärenergieeinsätze beziehen sich auf die gesamten Vorketten der Energiebereitstellung und beinhalten daher auch Emissionen und Primärenergieeinsätze die nicht in die Grenzen der österreichischen Emissionsinventur fallen. Die Farben in der linken Grafik stehen für die jeweiligen Energieträger. Die vollen Flächen zeigen den fossilen Primärenergieeinsatz während die schraffierten Flächen den erneuerbaren Primärenergieeinsatz widerspiegeln und beinhalten unter anderem auch den erneuerbaren Anteil von Strom- und Fernwärme. In der rechten Grafik zeigen die schraffierten Flächen indirekte Emissionen, die vollen Flächen die direkten Emissionen der Wärmebereitstellung inklusive der Emissionen der Fernwärme und der Stromerzeugung zur Wärmebereitstellung.

Eine solche Entwicklung entspricht bei weitem nicht den Anforderungen eines Klimaschutzszenarios, welches eine Erderwärmung auf 2°C über dem vorindustriellen Niveau begrenzen möchte. Eine solche Kompatibilität, muss daher in den Vorstufen

erreicht werden, nämlich der Strom- und Fernwärmeerzeugung sowie im teilweisen oder vollständigen Ersatz von Erdgas durch CO₂-neutrale gasförmige Energieträger.

Im Bereich der Fernwärmeerzeugung wird im Rahmen dieser Arbeit auf zwei Studien (Quelle: Kalt et al., 2017 und Krutzler et al., 2016), die Klimaschutzszenarien mit einer gesamtwirtschaftlichen CO₂-Reduktion von etwa -80 % untersucht haben, zurückgegriffen. Die Fernwärmeaufbringung in diesen Szenarien erfolgt zu etwa 72-75 % durch Biomasse, die Müllverbrennung trägt zu 8-12 % der Wärmeaufbringung bei. Weitere 12-13 % der Energieaufbringung werden durch Geothermie, Großwärmepumpen und Solarthermie bereitgestellt, Erdgas trägt in dem Szenario mit 2 bis etwa 7 % zur Versorgung bei.



* AEA, 2017: Kalt, G. und Baumann M., 2017. Szenarien für Strom- und Fernwärme-aufbringung im Hinblick auf Klimaziele 2030 und 2050", Austrian Energy Agency, Wien.
 ** UBA, 2016: Krutzler, T., Wiesenberger, H., Heller, C., Gössl, M., Stranner, G., Storch, A., Heinfellner, H., Winter, R., Kellner, M., Schindler, I., 2016. Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050 (No. REP-0576). Umweltbundesamt, Wien.
 *** In weiterer Folge wird die Energiegewinnung aus Abfall vollständig als fossile Energie bewertet, auch wenn tatsächlich aufgrund des biogenen Anteils im Müll ein erheblicher Anteil (~50%) als erneuerbare Energie bewertet werden kann.

Abbildung 39. Fernwärmeaufbringung in 2010 und Aufbringung in 2050 in zwei Klimaschutzszenarien nach Energieträgern.

Im Wärmewende-Szenario wird nun für die folgenden Darstellungen des Primärenergiebedarfes und der CO₂-Emissionen im Jahr 2050 eine Fernwärmeaufbringung unterstellt, die energetisch zu 75 % auf Biomasse, 8 % Abfall, weiteren 15 % aus Solarthermie, Geothermie und Wärmepumpen sowie zu 2 % auf Erdgas aufbaut. Inwiefern diese verbleibende Erdgasmenge auch über erneuerbares Gas gedeckt werden kann, wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht im Detail analysiert (s. Diskussion in Abschnitt 2.2.4. Darüber hinaus wird unterstellt, dass sich die derzeitigen Primärenergie- und CO₂-Faktoren ab 2021 bis 2050 linear an den Endzustand anpassen.

Eine solche Entwicklung in den Vorketten würde zu einer ähnlichen Entwicklung des gesamten Primärenergieeinsatzes führen. Die sehr geringe Reduktion würde sich dadurch ergeben, dass in der Strom- und Fernwärmeerzeugung vermehrt Energiequellen mit einem Primärenergiefaktor von 1 (Solartechnologien, Wind) bzw. Biomasse-KWK Anlagen zum Einsatz kommen. Diese Reduktion wird durch den Ersatz von Erdgas durch ein Biomethan/Wasserstoff-Gasgemisch kompensiert, für welches ein höherer Primärenergiefaktor (1,3) als für Erdgas (1,16) unterstellt wird. Große Auswirkungen ergeben sich aber im Verhältnis von fossiler Primärenergie zu erneuerbarer Primärenergie. Würde sich unter den derzeitigen Primärenergiefaktoren noch ein fossiler Einsatz von etwa 23.500 GWh in 2050 ergeben, so sinkt dieser unter Berücksichtigung der unterstellten Änderungen in den vorgelagerten Sektoren auf etwa 5.500 GWh ab. Davon sind wiederum etwa 40 % der energetischen Verwertung von Abfall (Hausmüll, etc., hier vereinfacht als nicht erneuerbar definiert) zuzuordnen.

Zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen, die aus der Wärmeversorgung von Gebäuden resultieren wird, sind ebenfalls die Änderungen in der vorgelagerten Endenergie-Bereitstellungskette zu beachten. Für die Stromerzeugung wird statt der Faktoren, wie sie in der OIB Richtlinie 6 ausgewiesen werden, die Emissionsfaktoren des Strommarktes von Deutschland und Österreich herangezogen. Dazu werden sowohl für den Ausgangszustand (2015) als auch für die Jahre 2030 und 2050 (aus Haas et al., 2017) die monatlichen Emissionsfaktoren aus der Stromerzeugung berechnet. Für den jährlichen Emissionsfaktor wurden diese monatlichen Durchschnittsemissionen anhand des monatlichen Wärmebedarfes, der durch den Energieträger Strom gedeckt wird, gewichtet. Im Ausgangszustand ergibt sich durch die Änderung der Systemgrenzen ein höherer Emissionsfaktor (465 kg CO₂/MWh) als der in OIB Richtlinie ausgewiesene Wert (276 kg CO₂/MWh). Dieser Wert sinkt mit der Dekarbonisierung des Stromsystems auf etwa 315 kg CO₂/MWh in 2030 bzw. etwa 66 kg CO₂/MWh in 2050.

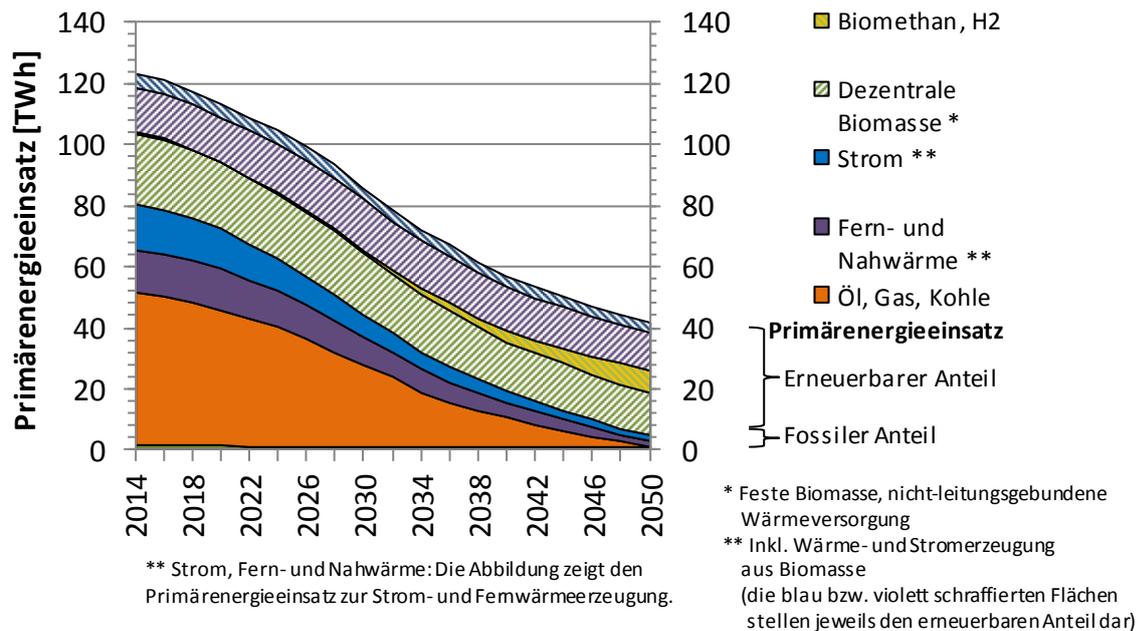


Abbildung 40. Entwicklung des erneuerbaren und fossilen Primärenergieeinsatzes unter Berücksichtigung der Änderungen des Energiemixes in der Fernwärme und Stromerzeugung sowie dem Ersatz von Erdgas im Gebäudesektor durch ein CO₂-neutrales Biomethan-Wasserstoff Gasmisch. Bei dieser Darstellung ist zu beachten, dass Energiebeiträge, die aus Vor-Ort erneuerbaren Energiequellen (Solarthermie, PV und Umgebungswärme am Gebäudestandort) nicht in die Bilanz eingehen. Die Farben in der Grafik stehen für die jeweiligen Energieträger. Die vollen Flächen stehen für fossilen Primärenergieeinsatz während die schraffierten Flächen den erneuerbaren Primärenergieeinsatz widerspiegeln und beinhalten unter anderem auch den erneuerbaren Anteil von Strom- und Fernwärme.

Unter diesen Bilanzgrenzen ergeben sich heute Emissionen im Bereich von etwa 20 Mt CO₂ (Abbildung 41). Davon werden etwa 50-55 % durch die Umwandlung des Endenergieträgers in Wärme direkt in den versorgten Gebäuden verursacht. Diese 11 Mt CO₂ werden derzeit jeweils zu etwa 50 % durch Erdgas bzw. Heizölprodukten verursacht. Die verbleibenden knapp 10 Mt an CO₂-Emissionen stellen indirekte Emissionen dar, die nicht in unmittelbarer Nähe zu den versorgten Gebäuden, sondern in der vorgelagerten Energiebereitstellungskette (Strom- und Fernwärmeerzeugung sowie bei der Gewinnung, der Aufbereitung und dem Transport der Energieträger Erdgas, Heizöl und Biomasse) entstehen. Diese Emissionen entstehen mehrheitlich, aber nicht vollständig, innerhalb von Österreich und finden sich daher auch mehrheitlich in der österreichischen Treibhausgasinventur wider.

Im Laufe des Energiewendeszenarios reduzieren sich die direkten, Vor-Ort entstehenden Treibhausgasemissionen praktisch vollständig, sofern der verbleibende Bedarf an gasförmigen Energieträgern von etwa 5900 GWh durch ein CO₂-neutrales Gasmisch (Biomethan und Wasserstoff) ersetzt wird. In den vorgelagerten Endenergiebereitstellungsketten werden unter den gewählten Bilanzgrenzen noch CO₂-Emissionen im Bereich von etwa 1 Mt CO₂ pro Jahr emittiert.

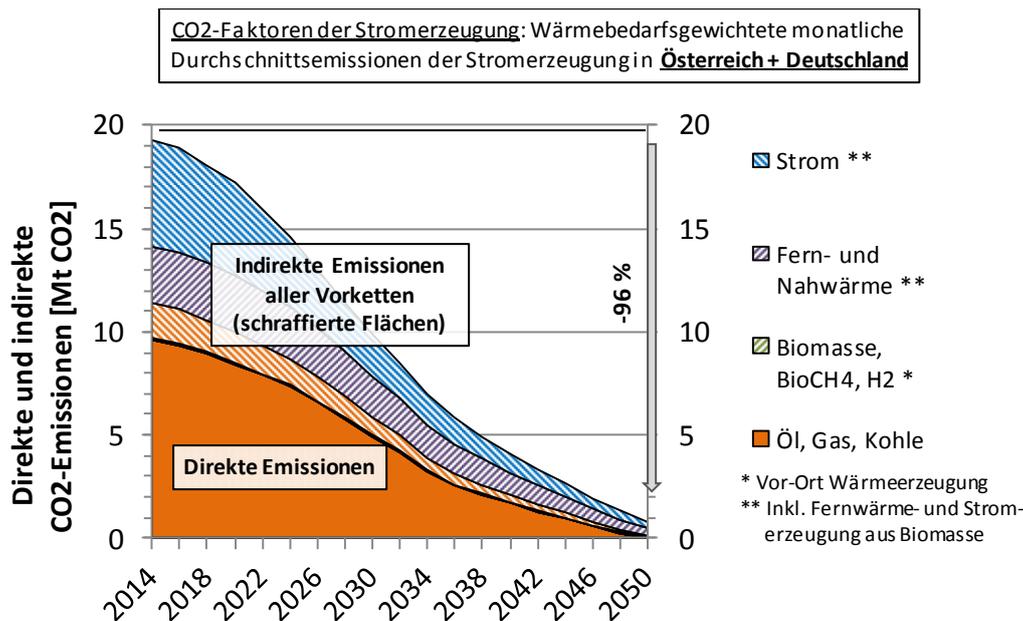


Abbildung 41. Entwicklung der CO₂-Emissionen unter Berücksichtigung der Änderungen des Energiemixes in der Fernwärme- und Stromerzeugung sowie dem Ersatz von Erdgas im Gebäudesektor durch ein CO₂-neutrales Biomethan-Wasserstoff Gasgemisch. Die schraffierten Flächen zeigen indirekte Emissionen, die vollen Flächen die direkten Emissionen der Wärmebereitstellung inklusive der Emissionen der Fernwärme und der Stromerzeugung zur Wärmebereitstellung.

Eine solche Entwicklung der Wärmeversorgung in Österreich reduziert die damit verursachten Treibhausgase um 95 %. Dadurch entspricht das Wärmewende-Szenario den Anforderungen, die an den Gebäudesektor im Rahmen einer gesamtösterreichischen 2°-Ziel beziehungsweise Parisabkommen-konsistenten Entwicklung gestellt werden.

Eine vollständige Darstellung des Endenergieeinsatzes nach Primärenergiequellen zeigt Abbildung 42. Im Gegensatz zur oben gezeigten Darstellung der Primärenergiequellen, beinhaltet diese die Energiebeiträge der Vor-Ort genutzten Energiequellen. Darüber hinaus werden die energetischen Vorketten der Energieträger bei den in der Gewinnung und Verteilung der Energieträger entstehenden energetischen Verlusten nicht bilanziert. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass die Endenergiemenge, die aus biogenen Primärenergiequellen stammt, in etwa über den gesamten Zeitraum konstant bleiben. Insgesamt stellt Biomasse in dem betrachteten Bereich im Wärmewende-Szenario in 2050 etwa 55 % der Endenergie bereit. Solare Energie (Vor-Ort Solarthermie, PV sowie deren Nutzung in Wärmenetzen) zur Wärmeerzeugung sowie durch Wärmepumpen genutzte Umgebungswärme werden stetig ausgebaut und stellen 1/3 der erforderlichen Endenergie bereit. 7 % werden durch Strom aus nicht-biogenen erneuerbaren Energiequellen gedeckt, die verbleibenden 5 % durch fossile Energieträger, etwa die Hälfte davon stammt aus der energetischen Verwertung von Müll.

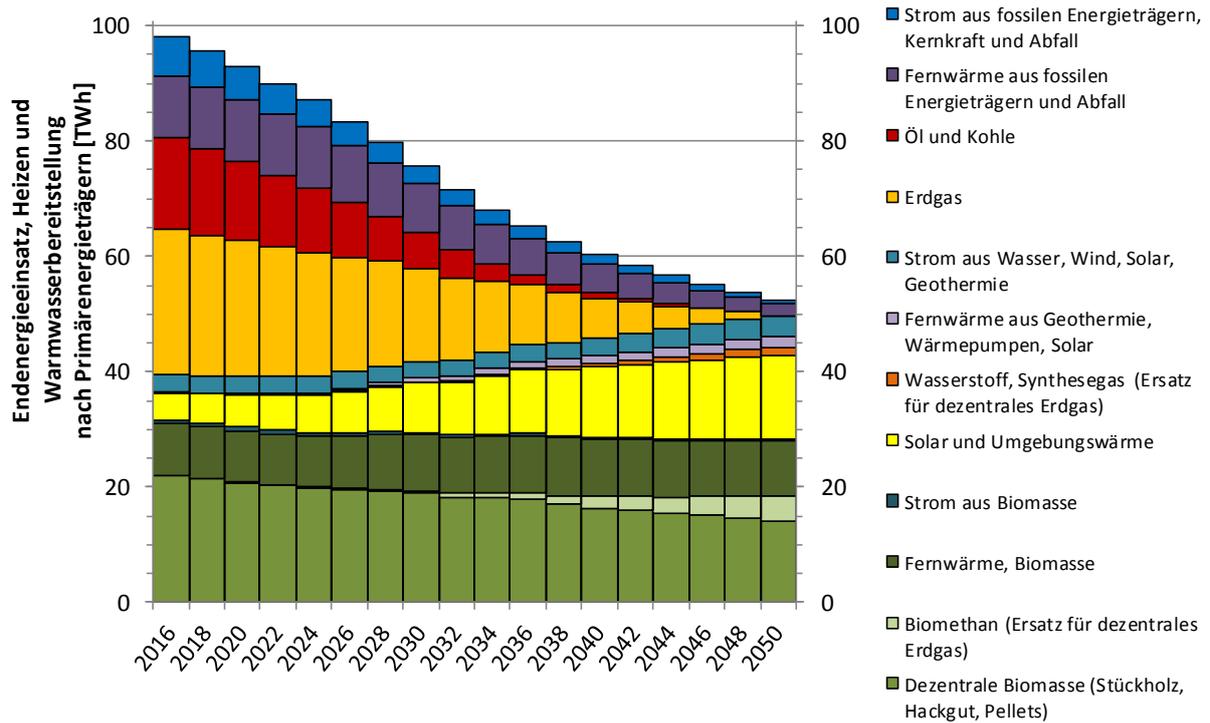


Abbildung 42. Entwicklung des Endenergieeinsatzes für Raumwärme und Warmwasserbereitstellung nach Primärenergiequellen.

Tabelle 4. Endenergieeinsatz (in TWh) nach Primärenergiequellen im Wärmewende-Szenario

	2016	2020	2030	2040	2050
	[TWh]				
Dezentrale Biomasse (Stückholz, Hackgut, Pellets)	21,9	20,8	18,9	16,4	14,1
Biomethan (Ersatz für dezentrales Erdgas)	0,1	0,1	0,5	2,0	4,4
Fernwärme, Biomasse	9,0	8,9	9,7	10,0	9,4
Fernwärme aus fossilen Energieträgern und Abfall	10,7	10,7	8,5	4,9	2,0
Fernwärme aus Geothermie, Wärmepumpen, Solar	0,2	0,2	0,7	1,4	1,7
Solar und Umgebungswärme	4,7	5,6	8,5	12,1	14,7
Strom aus Biomasse	0,7	0,7	0,4	0,3	0,2
Strom aus Wasser, Wind, Solar, Geothermie	2,9	3,1	2,8	3,0	3,8
Strom aus fossilen Energieträgern, Kernkraft und Abfall	6,8	5,7	3,1	1,6	0,8
Erdgas	25,1	23,4	16,2	6,8	0,0
Ölprodukte und Kohle	16,0	13,7	6,3	1,2	0,0
Wasserstoff, Synthesegas (Ersatz für dezentrales Erdgas)	0,0	0,0	0,1	0,7	1,4

Ein wesentlicher Anteil der Fernwärme auf Basis Biomasse wird als Abwärme von Biomasse-KWK-Anlagen genutzt. Biomasse-KWK-Anlagen stellen somit einen wesentlichen Anteil der Energiewende sowohl im Wärme- als auch im Stromsystem. Der gesamte Biomasse-Primärenergie-Einsatz für den Wärme- und Stromsektor erhöht sich – unter Zugrundelegung des Stromzukunft 2030 Szenarios (Haas et al, 2017) – von knapp 45TWh (164 PJ) im Jahr 2015 auf knapp 55TWh (196 PJ) im Jahr 2030. Dabei beträgt der Anteil des Biomasse-Primäreinsatzes in KWK-Anlagen im Jahr 2030 knapp 24TWh und jener für reine Wärmebereitstellung etwa 31TWh.

Der Anteil von Erdgas für Strom- und Wärmebereitstellung in den Szenarien Stromzukunft 2030 (Haas et al, 2017) und Wärmezukunft 2050 reduziert sich von 2015 bis 2030 um etwa 40% auf rund 3Mrd m³. Wie in früheren Arbeiten bereits gezeigt wurde (z.B. Tichler et al, 2017, Fritz, 2016) erhöhen sich mit einem reduzierten Gas-Verbrauch bei gleichbleibender Leitungsinfrastruktur die Verteilkosten substantiell. Wenn die Kosten der Gas-Verteilung nicht stark ansteigen sollen, muss die Gas-Netz-Infrastruktur schrittweise an die Anforderungen des Wärmewende-Szenarios angepasst, d.h. teilweise auch zurück gebaut werden.

Für den Anteil der erneuerbarer Energieträger am Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitstellung ergibt sich damit die in Abbildung 43 dargestellte Entwicklung. Ausgehend von einem derzeit vorwiegend fossil (60 %) dominierten System übersteigt der Anteil an erneuerbaren Energieträgern den von fossilen Energieträgern im Zeitraum zwischen 2025 und 2030, sodass in 2030 bereits der mehrheitliche energetische Anteil aus erneuerbaren Energiequellen der stammt. Dieser Auswertung liegt die hier angestellte monatliche Bilanzierung des Stroms über den gemeinsamen deutsch-österreichischen Strommarkt (Haas et al., 2017) zu Grunde ohne Berücksichtigung etwaiger bilanzieller Verschiebung von überschüssigen erneuerbaren Stromzertifikaten.

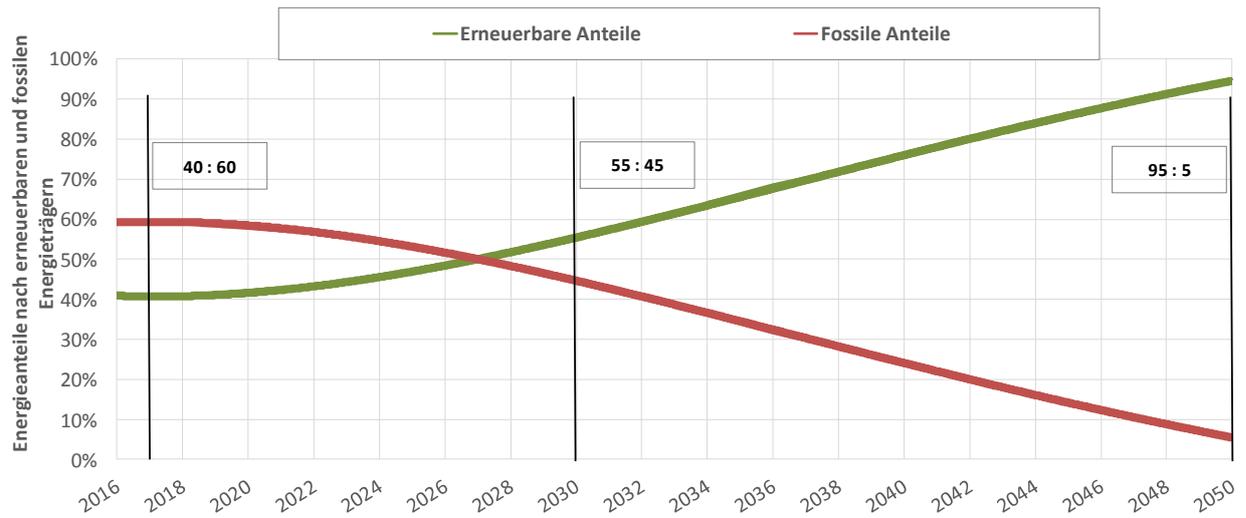


Abbildung 43. Entwicklung der erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Anteile am Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitstellung im Wärmewende-Szenario

Wird gegenüber der hier gewählten Strombilanzierung der österreichische Strommix (sowie etwaige Importstromanteile) als Referenz herangezogen, so würde sich bereits früher eine Parität von erneuerbaren und fossilen Energiequellen ergeben.

2.3 Bundesländerergebnisse

Im Folgenden werden die Modellergebnisse für die einzelnen Bundesländer grafisch dargestellt. Weitere Auswertungen sind im Anhang ersichtlich.

2.3.1 Burgenland

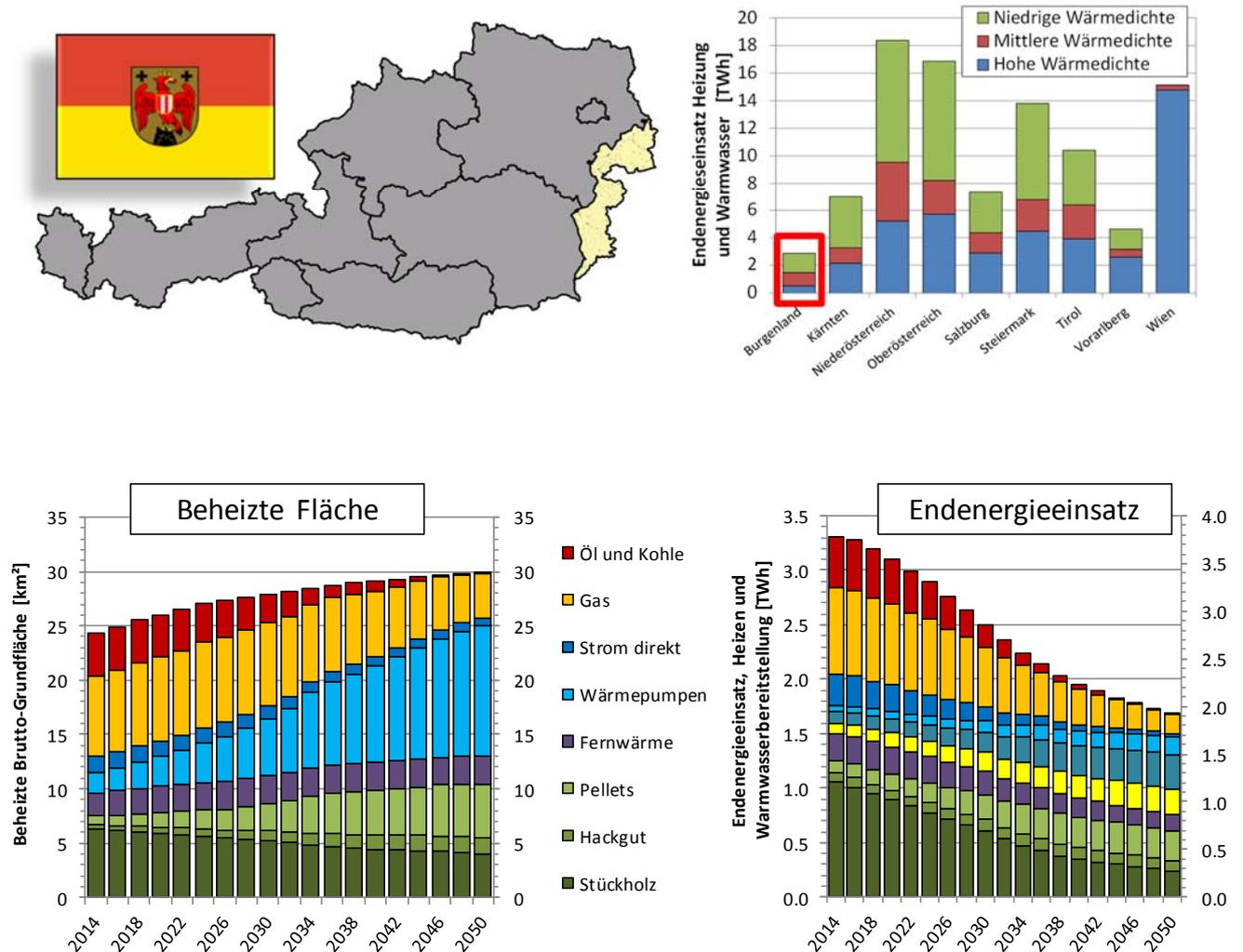


Abbildung 44. Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern im Burgenland

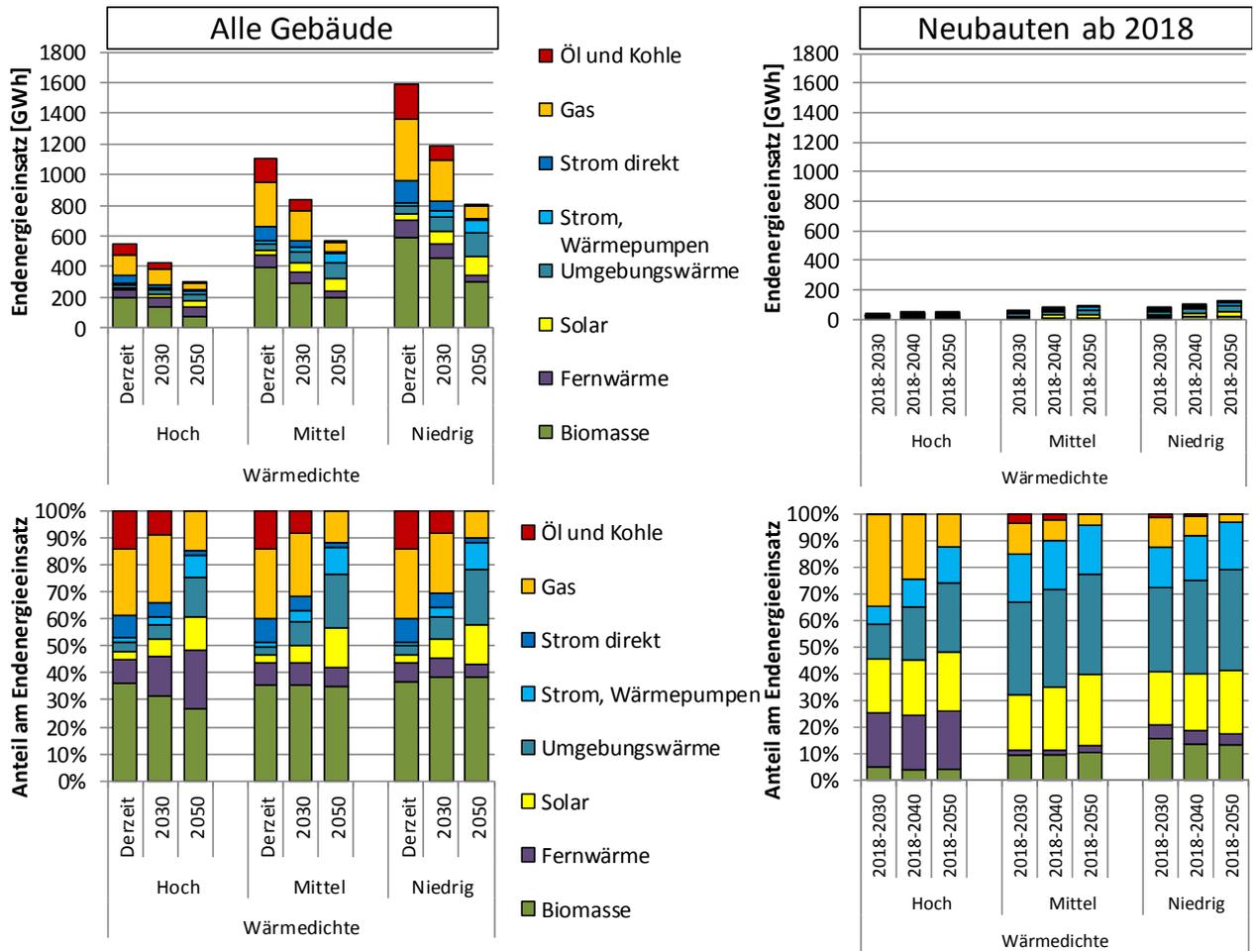
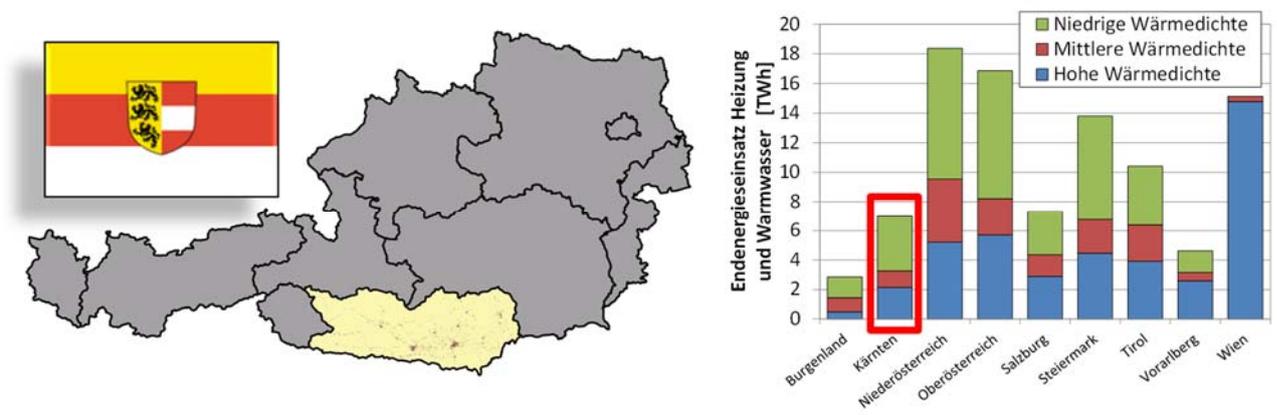


Abbildung 45. Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 im Burgenland

2.3.2 Kärnten



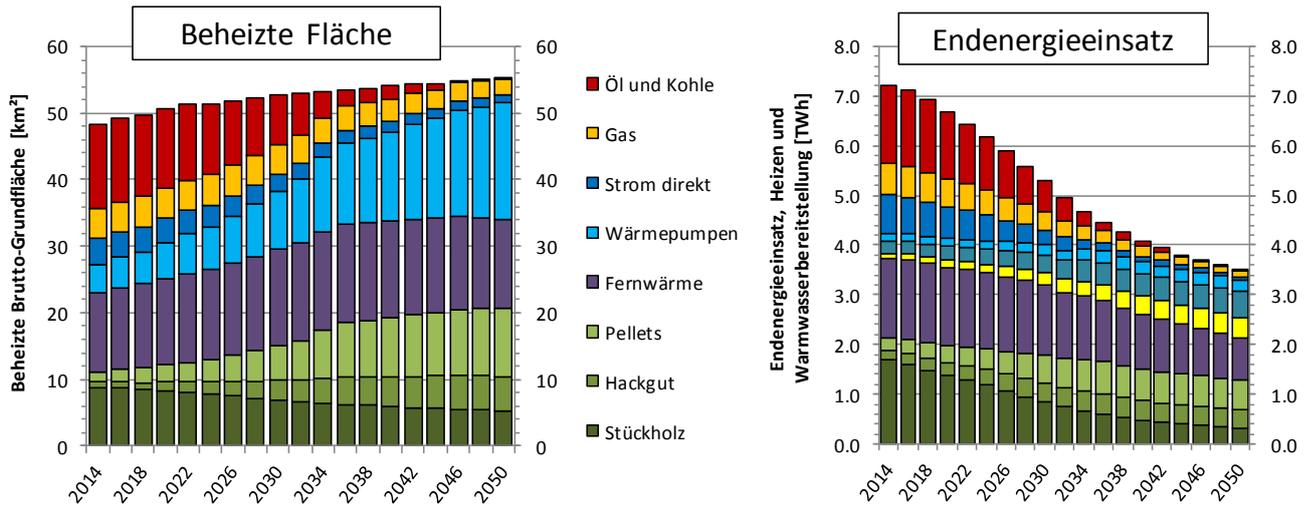


Abbildung 46. Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Kärnten

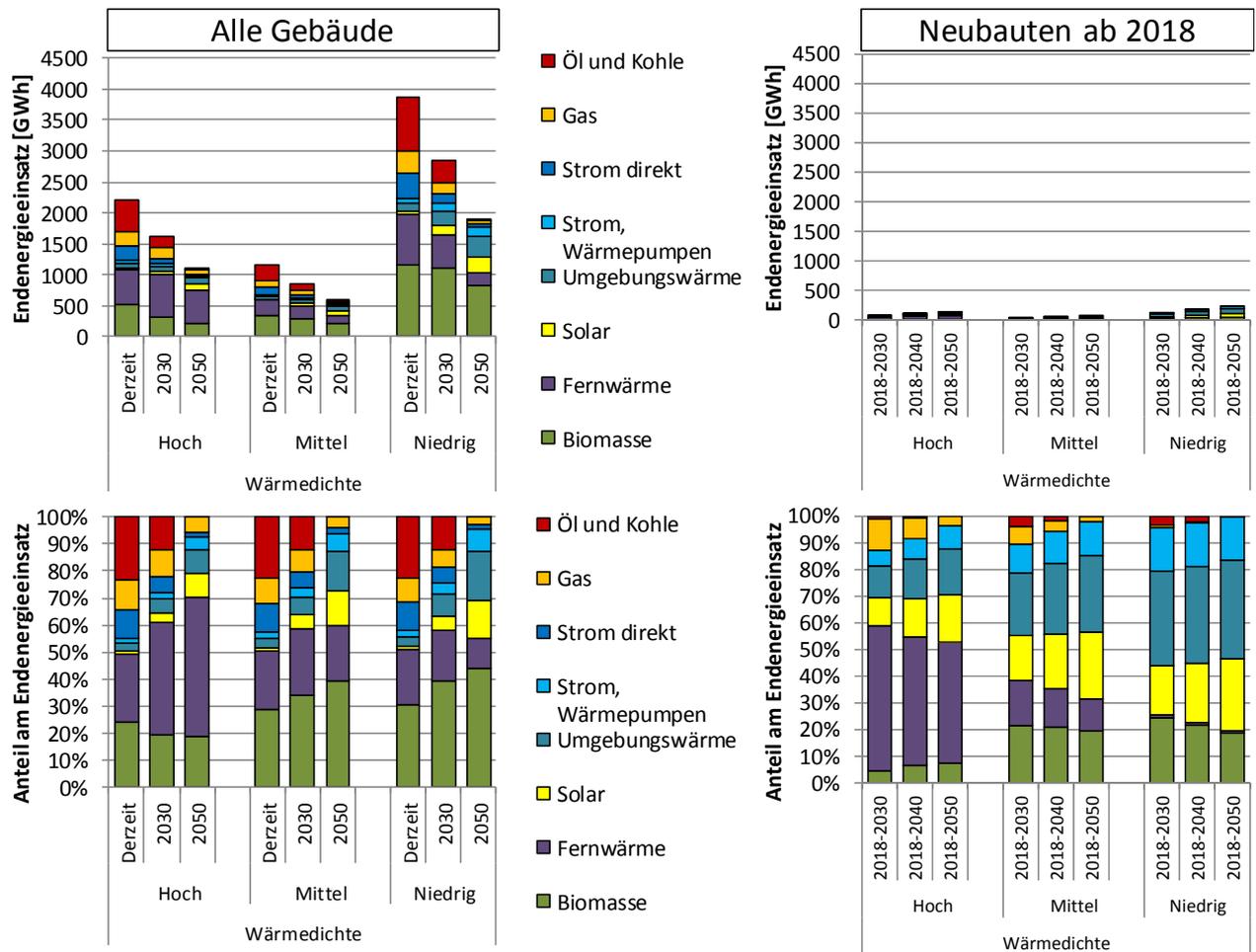


Abbildung 47. Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Kärnten

2.3.3 Niederösterreich

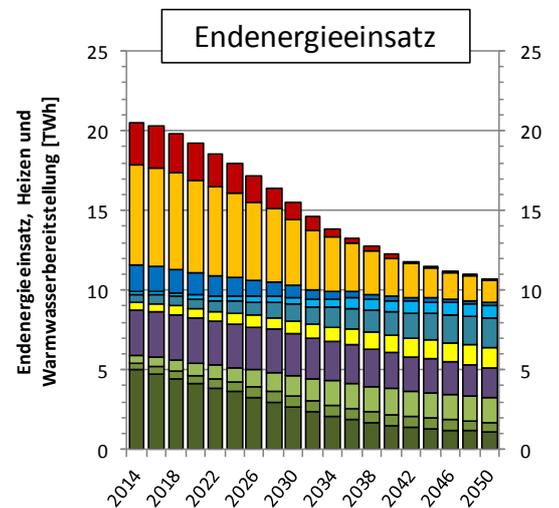
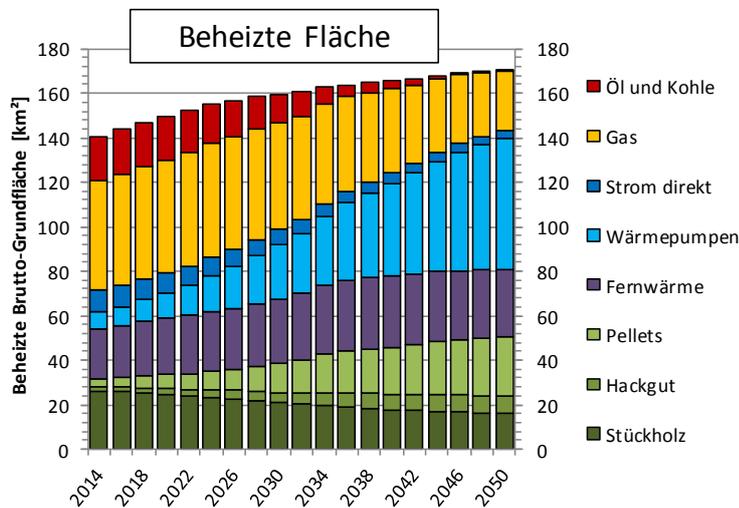
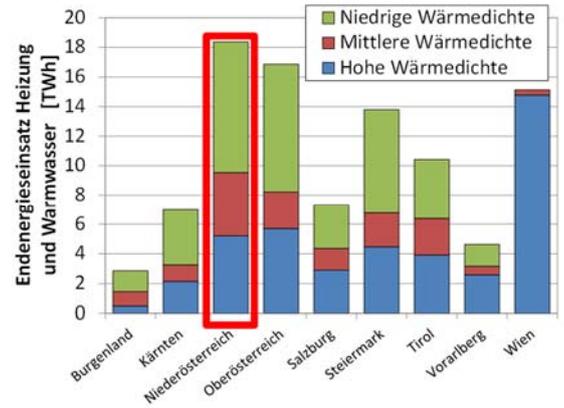


Abbildung 48. Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Niederösterreich

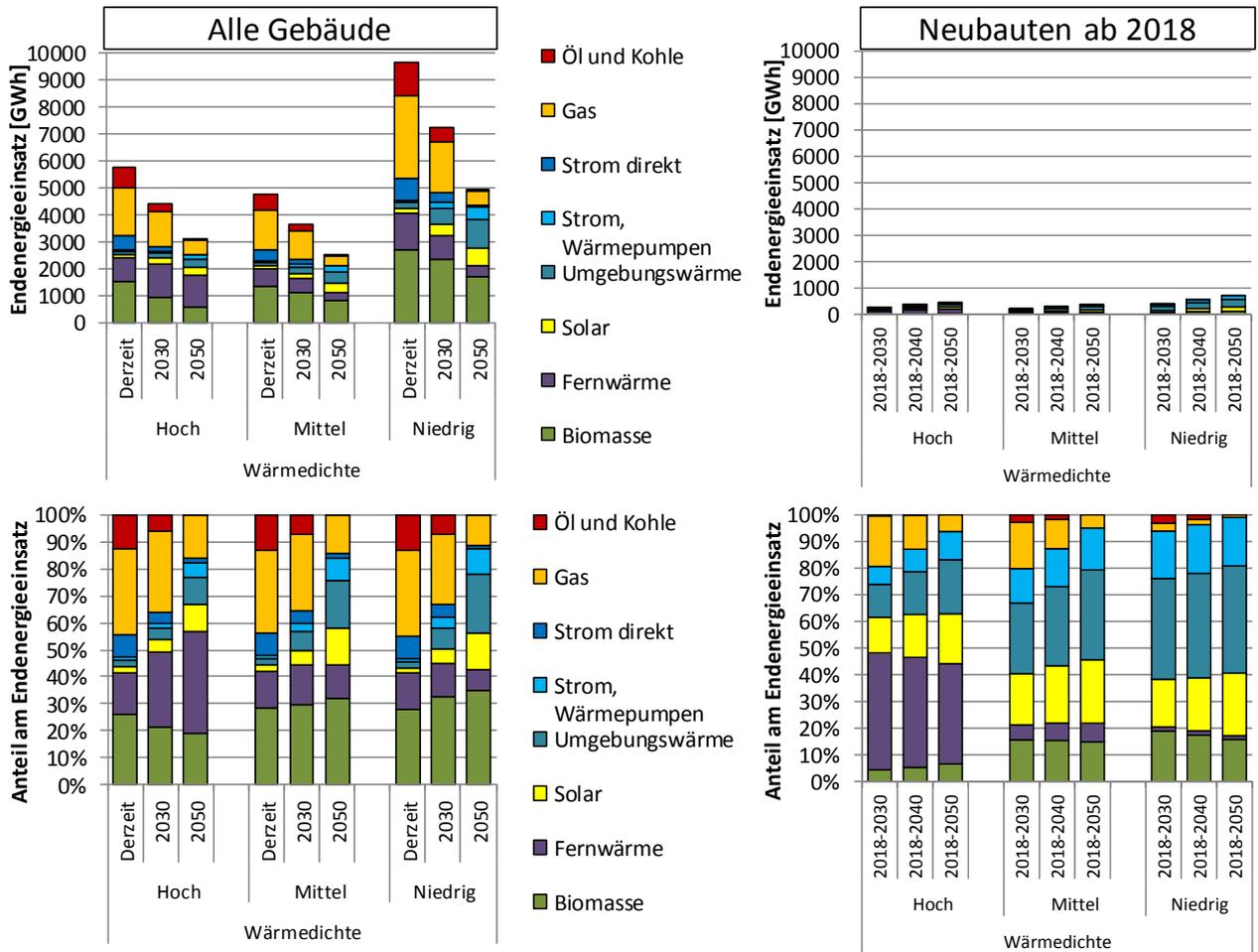
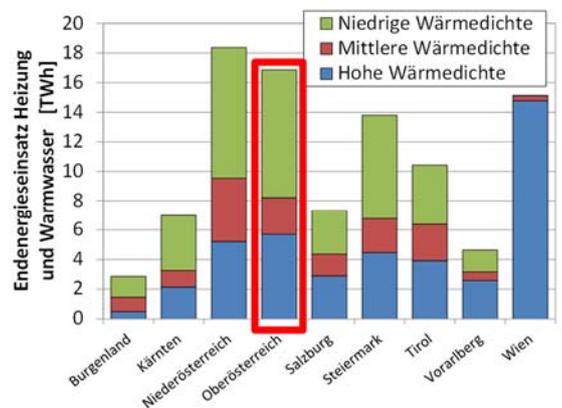
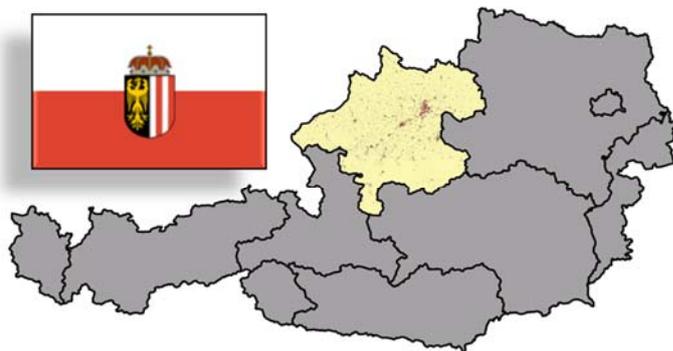


Abbildung 49. Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Niederösterreich

2.3.4 Oberösterreich



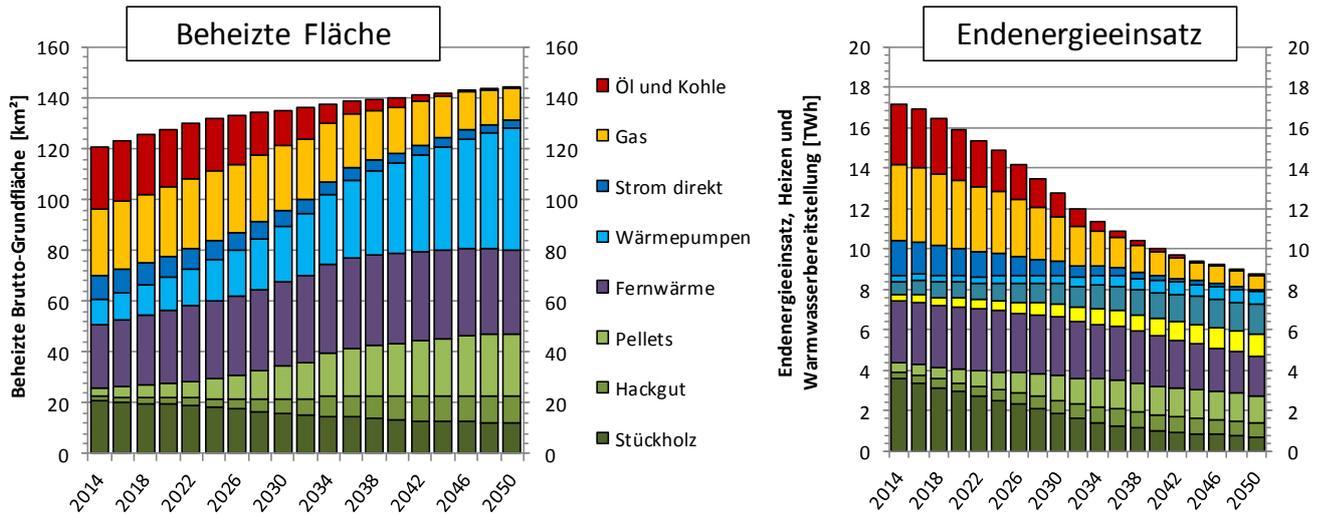


Abbildung 50. Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Oberösterreich

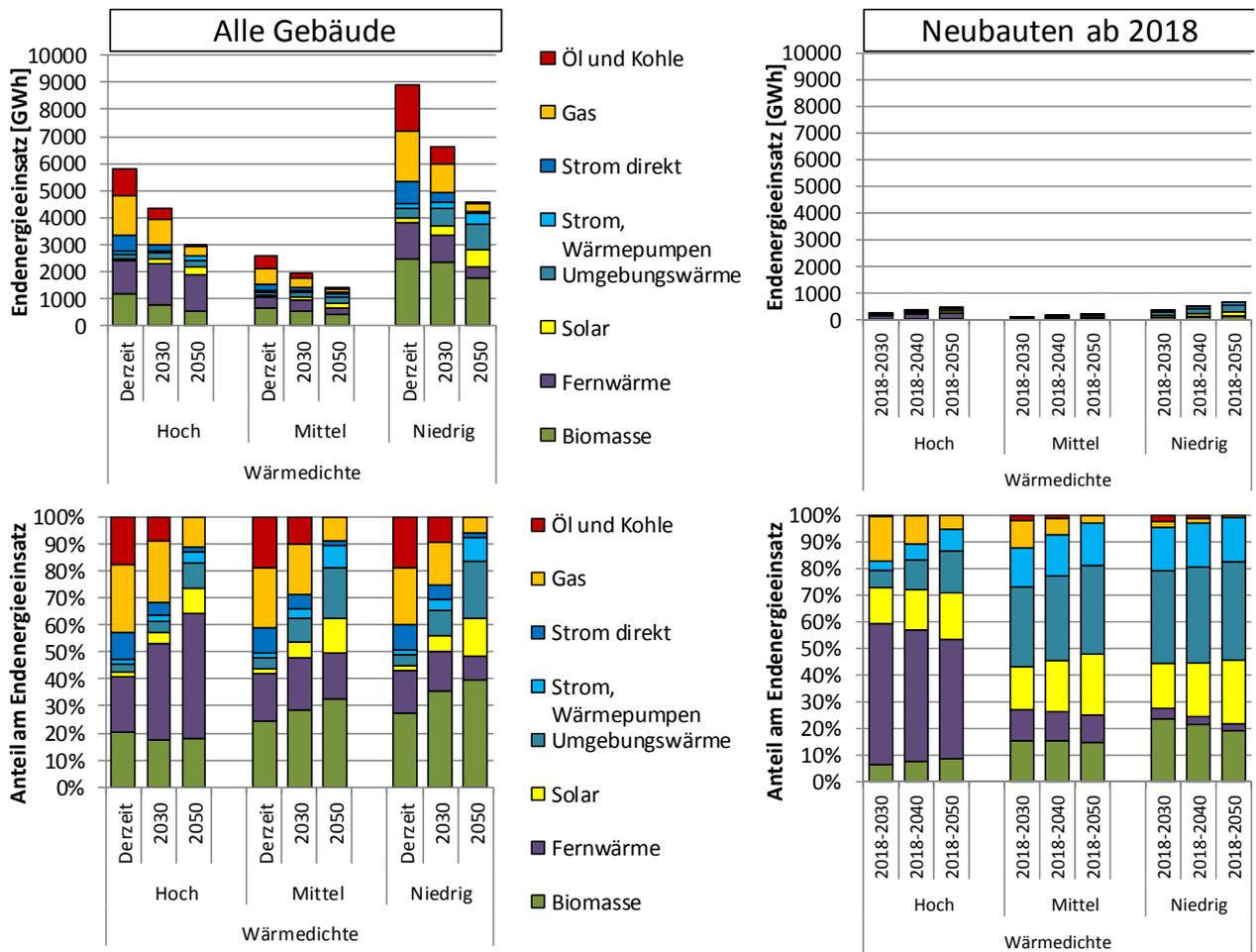


Abbildung 51. Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Oberösterreich

2.3.5 Salzburg

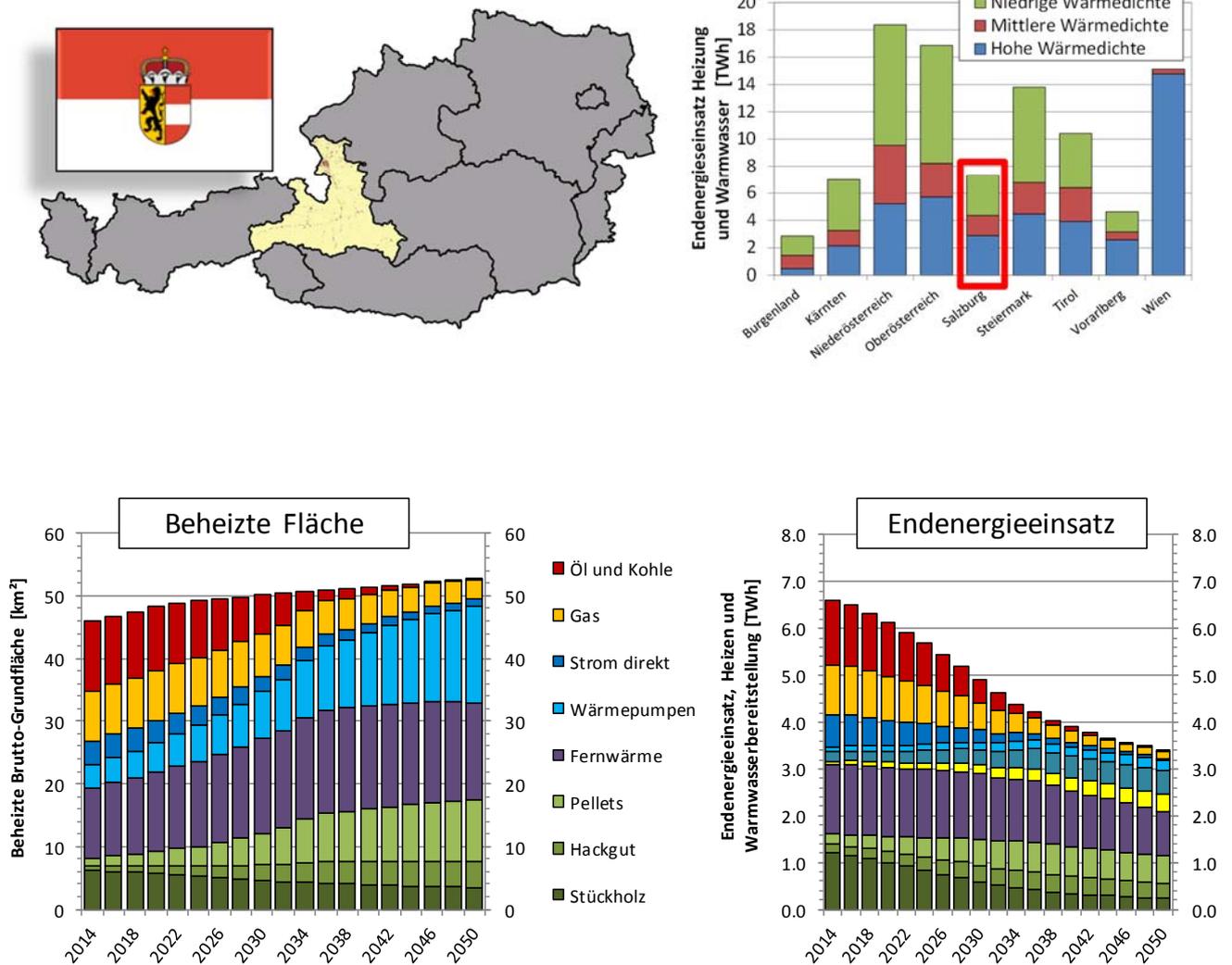


Abbildung 52. Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Salzburg

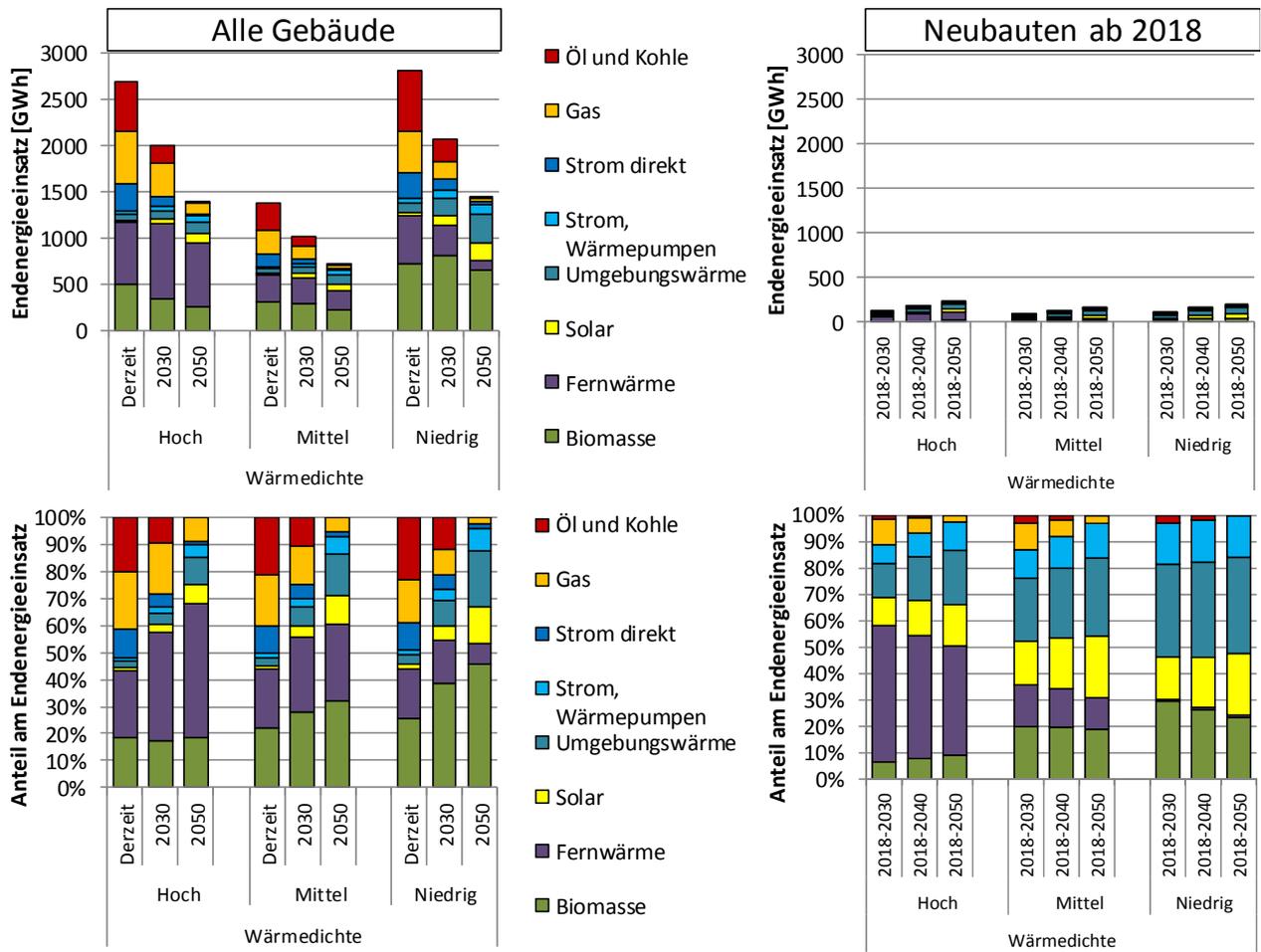
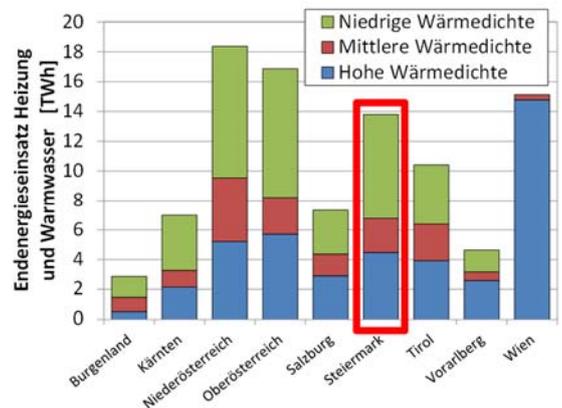
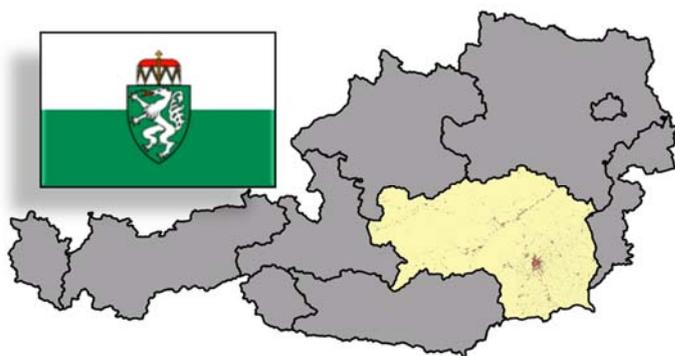


Abbildung 53. Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Salzburg

2.3.6 Steiermark



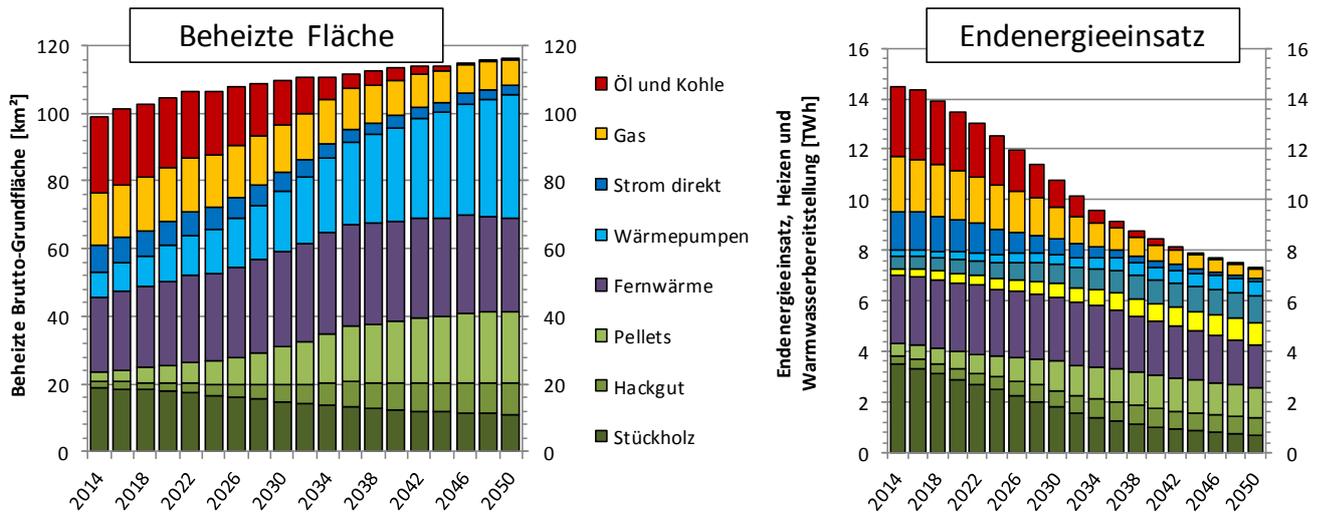


Abbildung 54. Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in der Steiermark

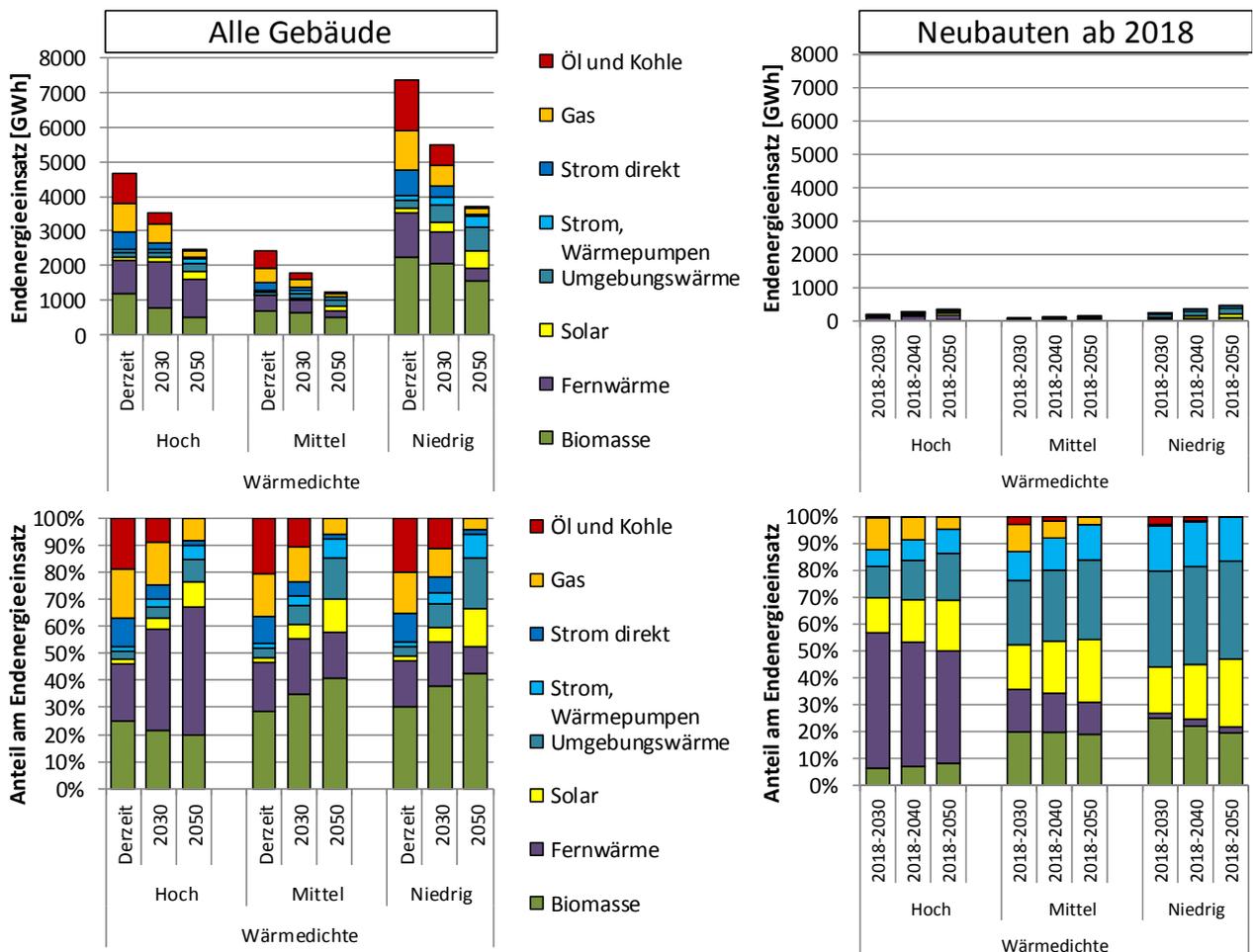


Abbildung 55. Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in der Steiermark

2.3.7 Tirol

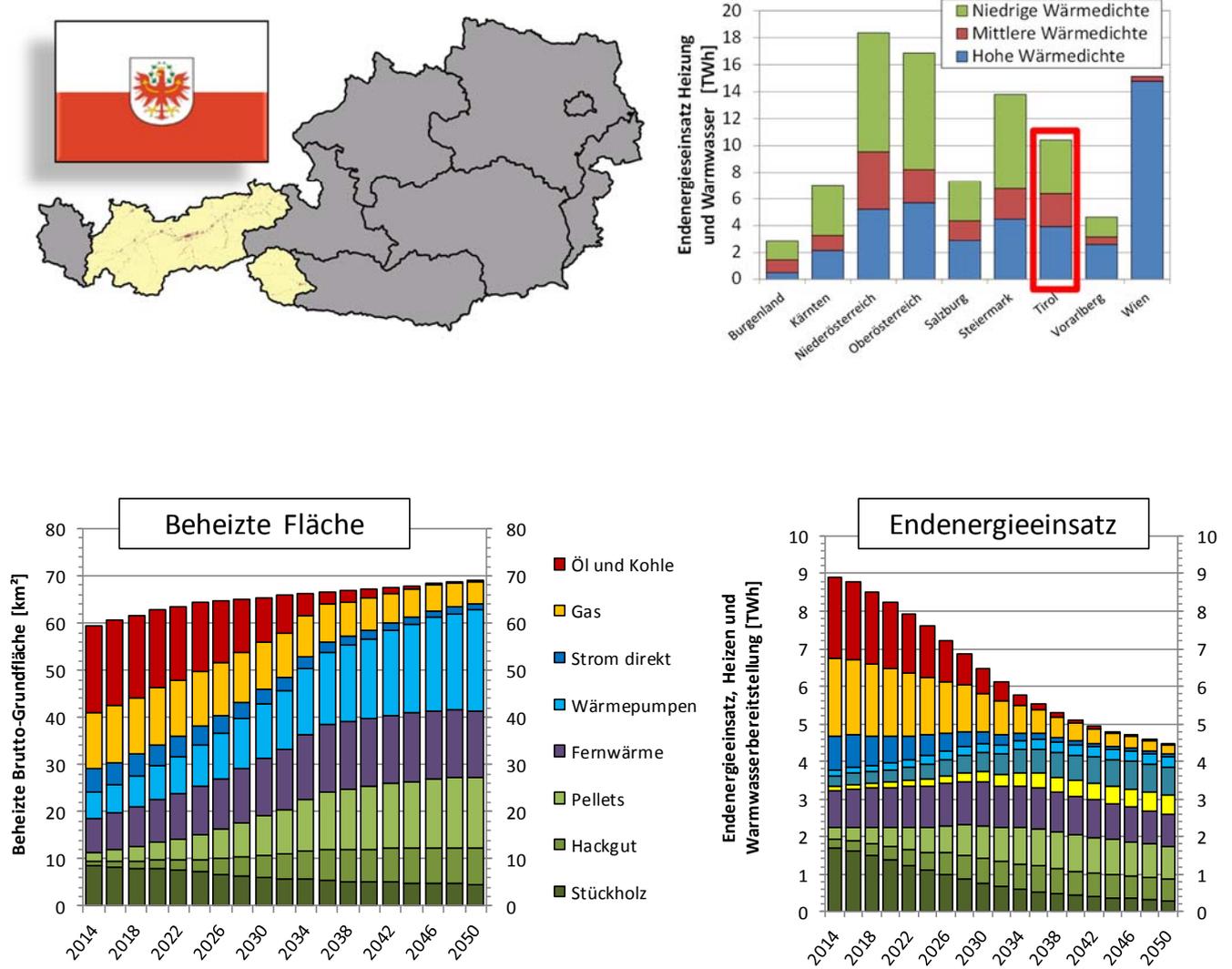


Abbildung 56. Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Tirol

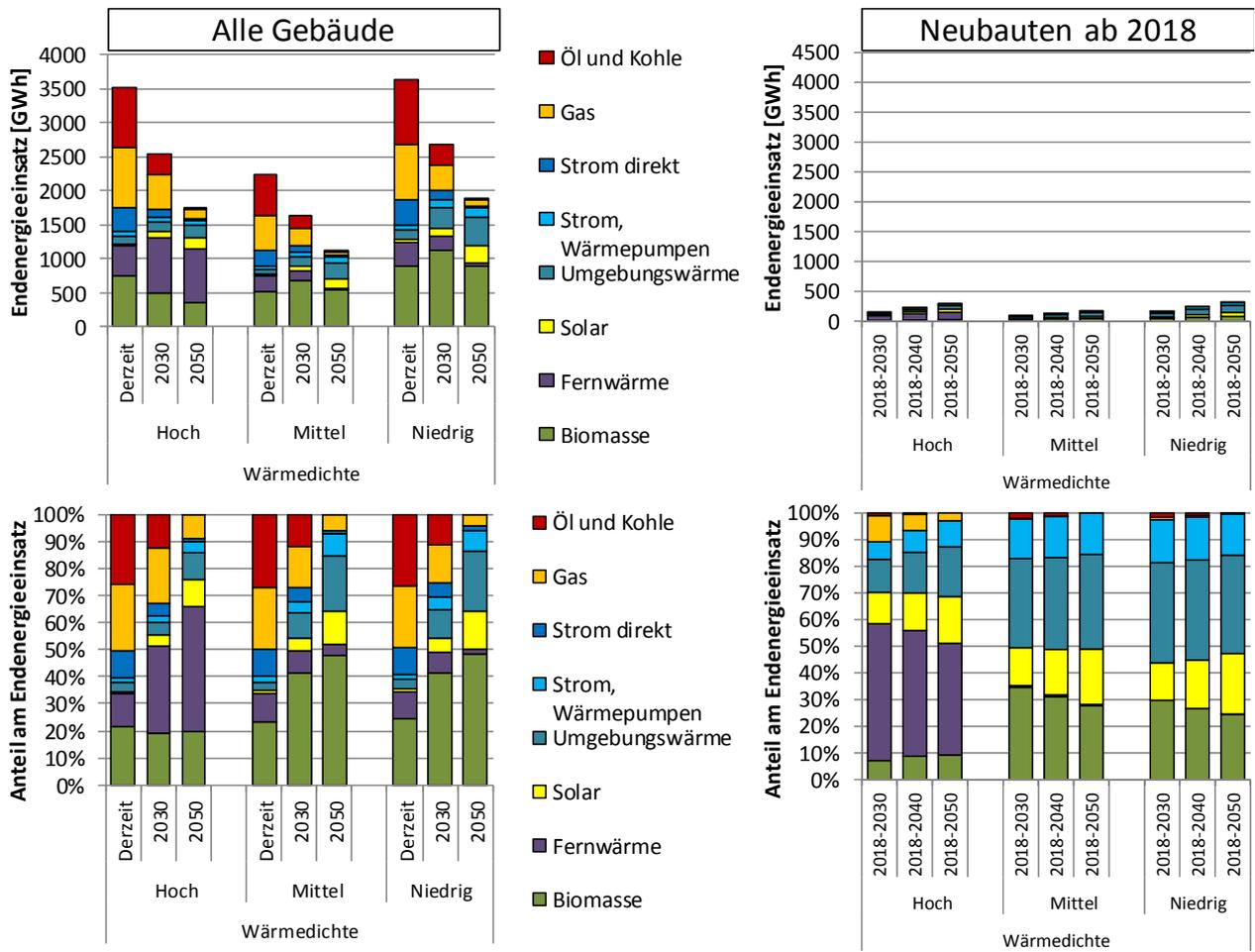
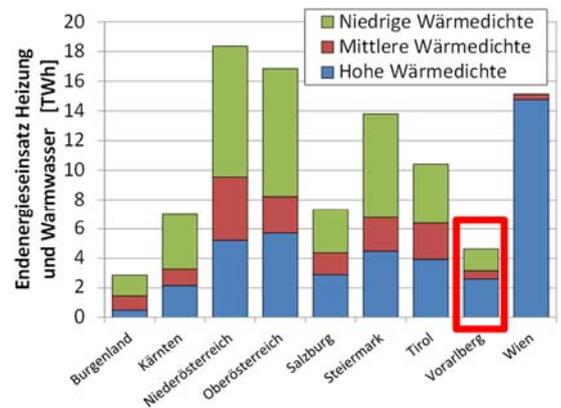


Abbildung 57. Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Tirol

2.3.8 Vorarlberg



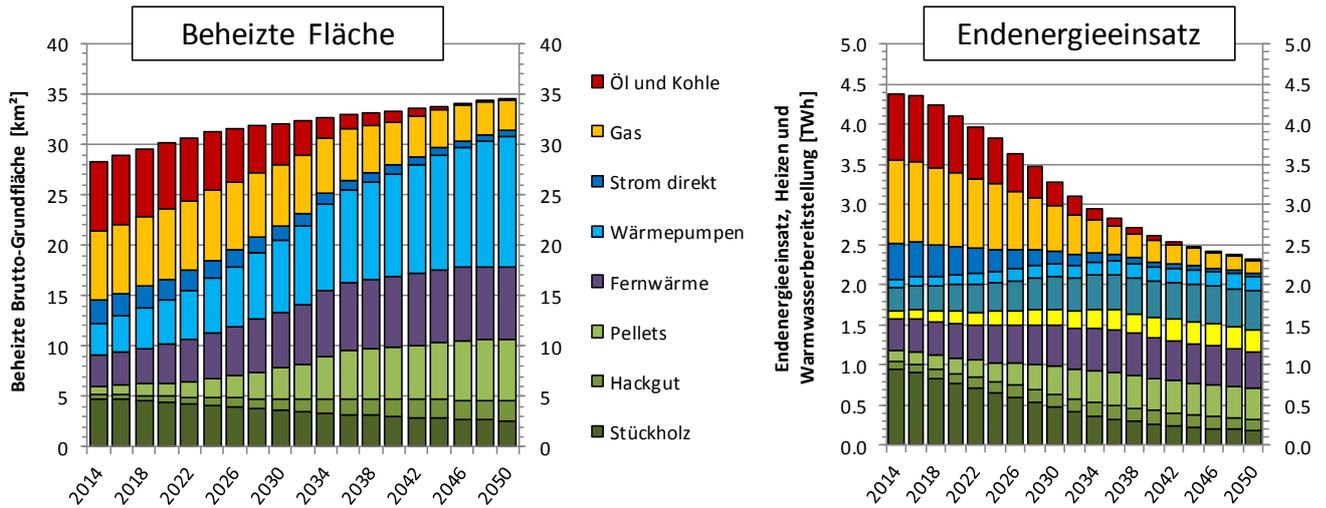


Abbildung 58. Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Vorarlberg

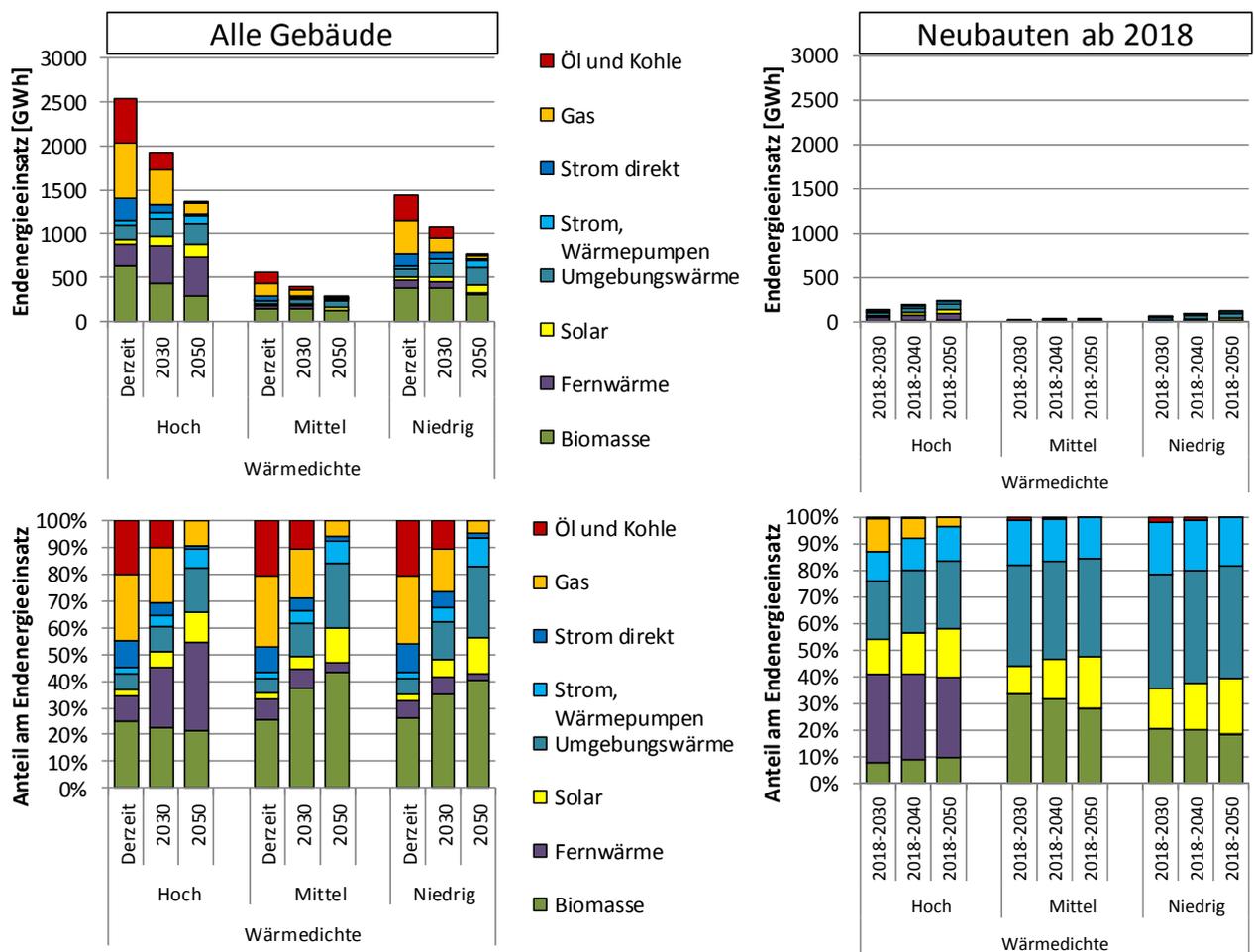


Abbildung 59. Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Vorarlberg

2.3.9 Wien

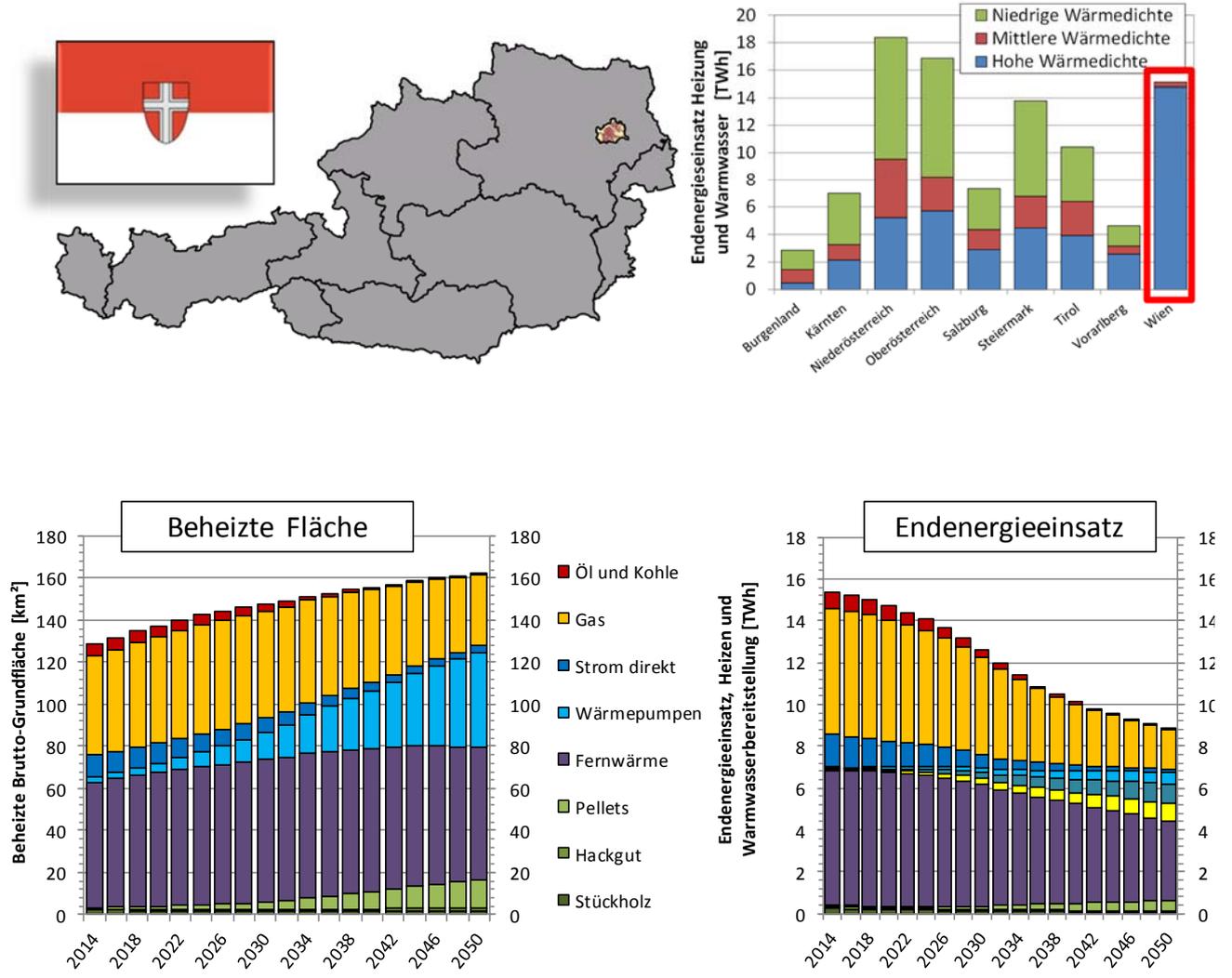


Abbildung 60. Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Wien

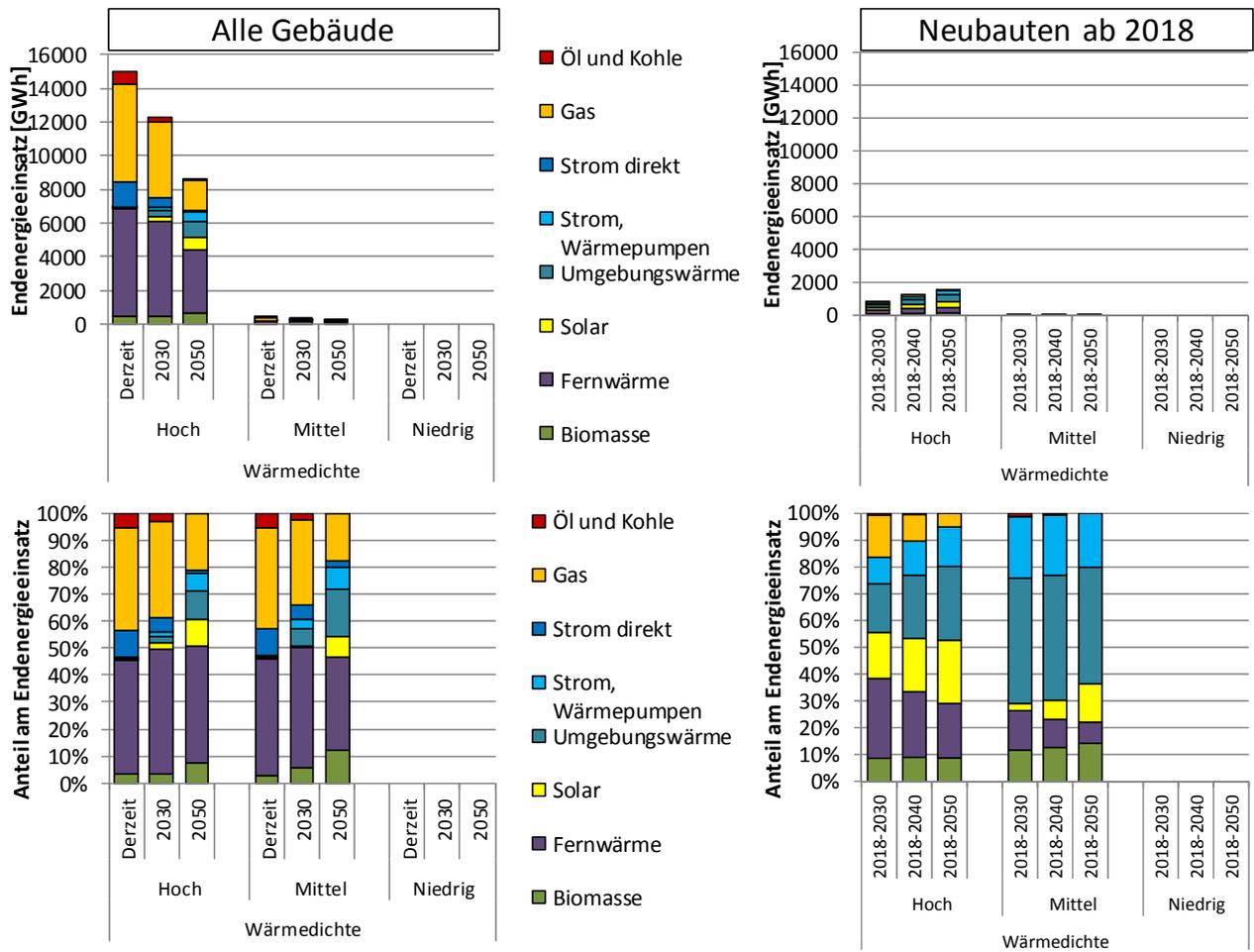


Abbildung 33. Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Wien

3 Ökonomische Implikationen des Wärmewende-Szenarios

In diesem Kapitel werden die ökonomischen Implikationen des Wärmewende-Szenarios genauer erörtert. Es wird beschrieben, welche Investitionen sowohl in Sanierung der Gebäudehülle als auch in unterschiedliche Wärmebereitstellungssysteme getätigt werden müssen, um das Wärmewende-Szenario zu erreichen. Des Weiteren wird einerseits errechnet welche Energiekosten durch die zusätzlichen Investitionen in thermische Sanierung und den forcierten Tausch der Wärmebereitstellungssysteme gegenüber dem Referenzszenario eingespart werden können, und andererseits welche Einsparungen der Energiekosten sich aus den thermischen Sanierungen und dem Tausch der Wärmebereitstellungssysteme anhand der angenommenen Energiepreisentwicklung gegenüber den derzeitigen Heizenergieausgaben ergeben. Abschließend werden die nötigen Investitionen und die erzielbaren Einsparungen in einer Bewertung der Kosten des Wärmewende-Szenarios gegenüber dem Referenzszenario verglichen und kurz auf mögliche Brutto-Arbeitsplatzeffekte durch die Investitionen eingegangen.

3.1 Thermische Sanierungsrate

Die dargestellten Entwicklungen im Wärmewende-Szenario erfordern, dass die thermische Qualität des derzeitigen Gebäudebestandes durch Sanierungen substantiell gesteigert wird. Der gesamte Heizwärmebedarf (HWB) des österreichischen Gebäudesektors beläuft sich derzeit gemäß unseren Berechnungen auf etwa 65 TWh. Davon werden etwa 55 TWh Gebäuden, die als sanierungswürdig gelten, zugewiesen.

Durch die derzeitigen Sanierungsaktivitäten werden jährlich etwa 600 – 700 GWh des Heizwärmebedarfes eingespart. Im Wärmewende-Szenario steigt die jährlich einzusparende Energie in den kommenden 20-25 Jahren deutlich an. Bis 2040 müssen in diesem Szenario jährlich etwa 1000 GWh, eingespart werden. Gegenüber dem Status-quo entspricht dies einem Anstieg von etwa 50%. Im Gegensatz dazu, bleibt der jährlich eingesparte Heizwärmebedarf im Referenzszenario bis 2040 in etwa auf dem derzeitigen Niveau.

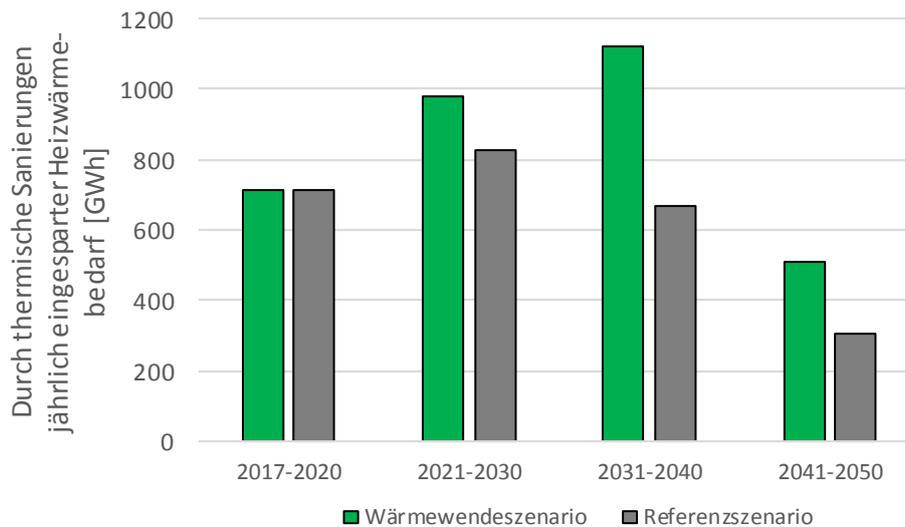


Abbildung 61. Jährliche Reduktion des österreichischen Nutzenergiebedarfs zur Raumwärmebereitstellung (Heizwärmebedarf, HWB) im Wärmewende-Szenario und im Referenzszenario.

Für die Berechnung der sich daraus ergebenden Sanierungsraten werden zwei unterschiedliche Definitionen von Sanierungsrate herangezogen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 62 dargestellt. Während sich die erste Definition („energiegewichtete“ Sanierungsrate) vorwiegend aus der eingesparten Energie errechnet, bezieht sich die zweite Definition („flächengewichtete“ Sanierungsrate) nur auf die Gebäudegrundflächen, welche einer thermischen Sanierung unterzogen werden.

Bei der energiegewichteten Sanierungsrate wird die Differenz des derzeitigen durchschnittlichen Heizwärmebedarfes zwischen sanierungswürdigen Gebäuden und umfassend thermisch sanierten Gebäude als Referenz für ein Sanierungsäquivalent herangezogen. Für Wohngebäude beträgt diese Differenz 80 kWh/m², für Nichtwohngebäude wurde ein Wert von 95 kWh/m² errechnet. Für eine energiegewichtete Sanierungsrate von 1 % im Wohngebäudebereich ist es in weiterer Folge erforderlich, dass jährlich ein HWB von 80 kWh/m² mal 1 % der sanierungswürdigen (Wohn-) Gebäudegrundflächen thermisch saniert werden. Liegt die durchschnittliche energetische Einsparung pro Gebäude bei 120 kWh/m², so müssen für die gleiche Sanierungsrate lediglich 0,66% der Wohngebäude thermisch saniert werden. Werden im Gegenzug durchschnittlich nur 40 kWh/m² eingespart, so müssen für eine (energiegewichtete) Sanierungsrate von 1 %, jährlich 2 % der sanierungswürdigen Gebäudegrundflächen thermisch saniert werden. Bei dieser Definition ist zu beachten, dass sich bei der Berechnung der Sanierungsrate der Nenner jährlich kleiner wird, da sich dieser auf die Gebäudegrundfläche der sanierungswürdigen Gebäude bezieht. Diese wird aber durch thermische Sanierungen (und Gebäudeabriss) jährlich kleiner. Gemäß dieser Definition steigt die Sanierungsrate im Wärmewende-Szenario von derzeit etwa 1,4 % auf 3 % im Zeitraum 2031 bis 2035. Im Zeitraum danach sinkt diese

wieder auf das heutige Niveau ab. Im Gegensatz dazu steigt im Referenzszenario die energiegewichtete Sanierungsrate im Zeitraum bis 2040 auf durchschnittlich etwa 1,7 % an und fällt danach stark ab.

In die Berechnung der flächengewichteten Sanierungsrate geht die eingesparte Energie nicht ein. Ein Sanierungsäquivalent bedeutet, dass die Gebäudefassade, die oberste Geschoßdecke gedämmt und die Fenster getauscht wurden. Dabei ist es zudem nicht notwendig, dass diese Maßnahmen bei ein und demselben Gebäude durchgeführt werden. Die so ermittelte Fläche an Gebäuden, die einer Sanierung unterzogen wurden, wird nun durch die gesamte Gebäudegrundfläche des österreichischen Gebäudebestandes (inkl. den Flächen thermisch sanierter Gebäude und Neubauten) dividiert. Im Gegensatz zur zuvor definierten Sanierungsrate steigt in diesem Fall die Größe im Nenner durch den wachsenden Gebäudebestand jährlich an. Die flächengewichtete Sanierungsrate liegt gemäß unseren Berechnungen derzeit bei etwa 1,3-1,4 %. Im Wärmewende-Szenario steigt diese bis zum Zeitraum 2031 bis 2035 auf etwa 2 % an und sinkt danach auf das heutige Niveau ab. Im Referenzszenario sinkt die flächengewichtete Sanierungsrate kontinuierlich ab und liegt in 2050 bei etwa 0,8 % pro Jahr.

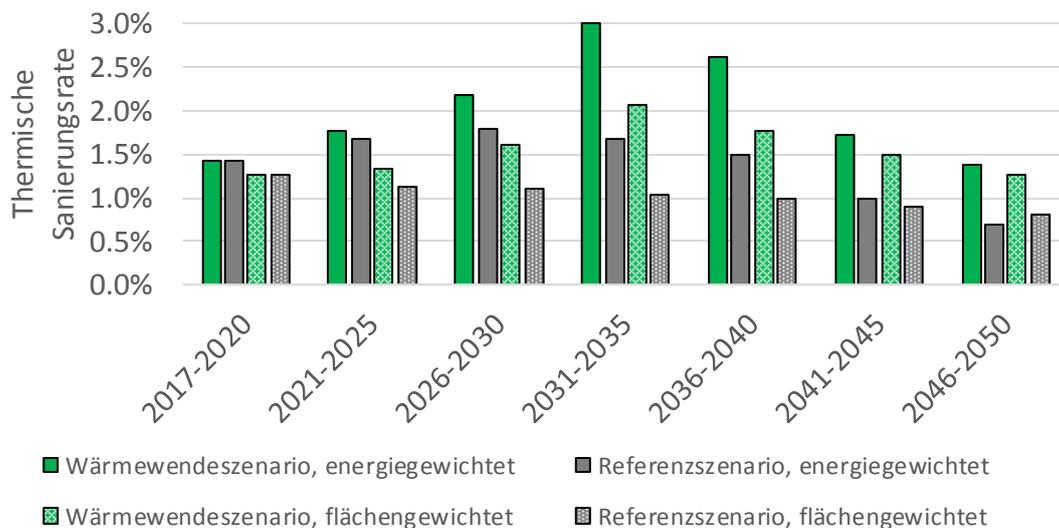


Abbildung 62. Thermische Sanierungsraten im Wärmewende-Szenario und im Referenzszenario.

3.2 Investitionen in Bestandsgebäude

Zur Ermittlung der erforderlichen Investitionen in Bestandsgebäude werden die im Szenario durchgeführten Maßnahmen in drei Komponenten zerlegt: die Investitionen in die Wärmebereitstellungstechnologien, die erforderlichen Investitionen für die thermischen Gebäudesanierungen und die Investitionen in Maßnahmen zur Instandsetzung der Gebäudehülle ohne thermische Verbesserungen. Zu diesen Maßnahmen zählen zum Beispiel Maßnahmen zur Renovierung von Fenstern

(Dichtungen, Scharniere, Ersatz von Glas bzw. Ausbesserungen der Holzrahmen, Schleifen, Streichen, etc.), Streichen der Fassade, Ausbesserungen am Putz oder Erneuerungen des Daches (Dichtheit, etc.). Für eine solche Instandsetzung sind Investitionskosten zwischen 55 (große Mehrfamilienwohngebäude und Gebäude des Dienstleistungssektors) und 75 €/m² (Einfamilienwohngebäude) angesetzt.

Im Wärmewende-Szenario stehen den Gebäuden drei unterschiedlich ambitionierte thermische Sanierungsvarianten zur Verfügung. Bei Variante 1 reduziert sich der Heizwärmebedarf von Wohngebäuden auf durchschnittlich 60 kWh/m² (Einfamilienwohngebäude) bis 40 kWh/m² (Große Mehrfamilienwohngebäude). Für diese Sanierungsvariante liegen die Investitionskosten im Bereich von 130 (große Mehrfamilienwohngebäude) bis 165 €/m² (Einfamilienwohngebäude). Für Nichtwohngebäude liegen die durchschnittlichen Investitionskosten bei 112 €/m², bei einer gleichzeitig schlechteren Sanierungsqualität. Von diesen Kosten werden in Abbildung 64 27-37 €/m² den Instandsetzungskosten zugerechnet.

Die ambitionierteste thermische Sanierungsvariante, die Gebäuden im Wärmewende-Szenario zur Verfügung steht, reduziert den durchschnittlichen Heizwärmebedarf von Wohngebäuden auf 25 bis 38 kWh/m². Für diese Sanierungsvariante werden durchschnittliche Investitionskosten bei Wohngebäuden im Bereich von 210 bis 260 €/m² bilanziert. Wiederum werden 27-37 € den Instandsetzungen zugeordnet.

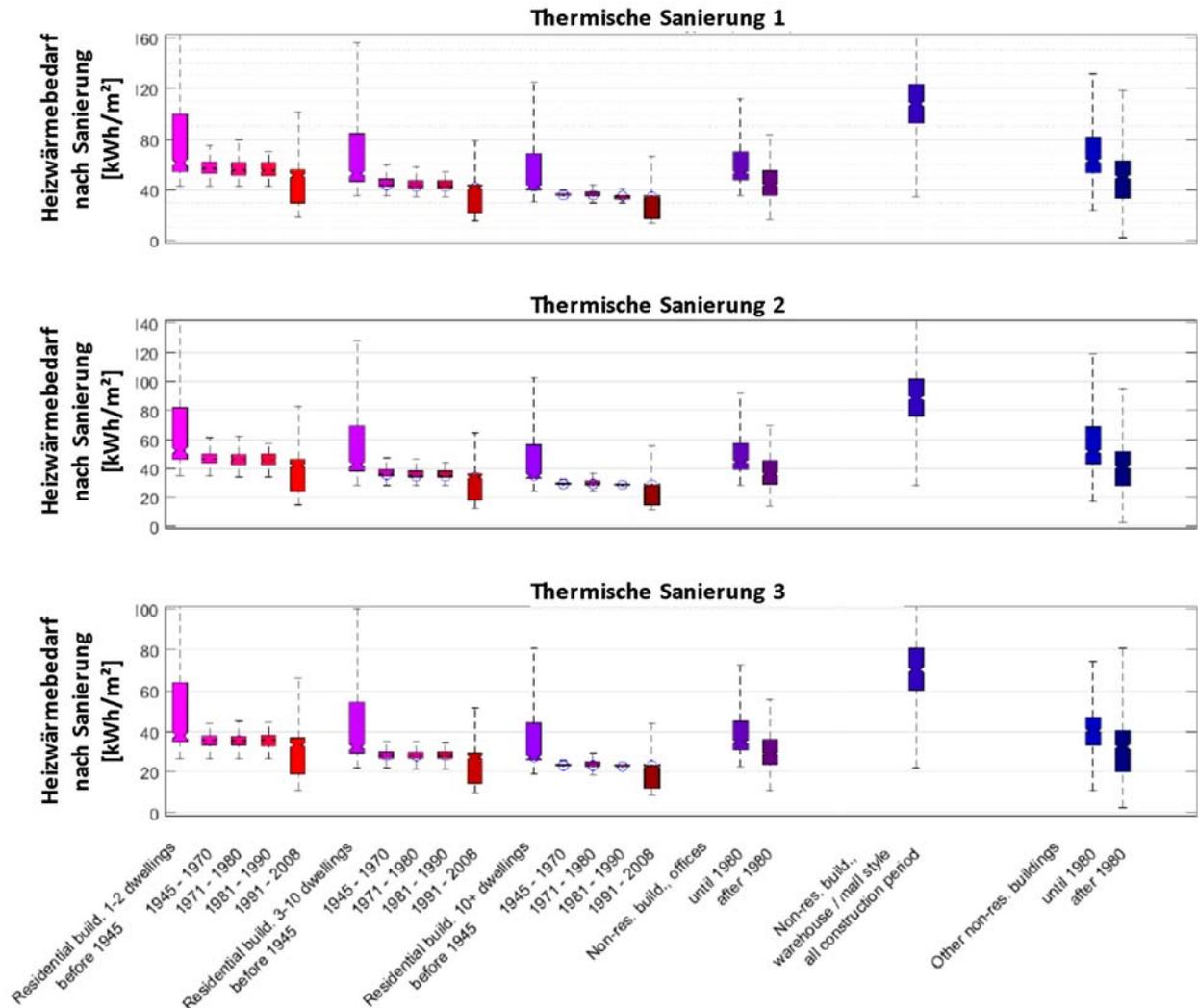


Abbildung 63. Sanierungsvarianten im Wärmewende-Szenario.

Das jährliche Investitionsvolumen, das sich daraus ergibt, liegt bei derzeit mehr als drei Milliarden Euro. Davon ist etwas mehr als eine Milliarde Euro den Wärmeerzeugungstechnologien zuzuordnen, die verbleibenden zwei Milliarden der thermischen Gebäudesanierung und Instandsetzungsinvestitionen. Im Laufe der hier ausgewiesenen Szenarien steigen diese Investitionen an. Im Wärmewende-Szenario sind im Zeitraum von 2021 bis 2040 jährlich etwa 4,9 Milliarden Euro erforderlich. Im Referenzszenario (Müller et al., 2017: WEM Szenario) liegen diese Ausgaben bei etwa 3,8 Milliarden Euro. An dieser Stelle gilt es zu betonen, dass auch im Referenzszenario sowohl der Anteil an erneuerbaren Energieträgern deutlich gegenüber dem Status-quo ansteigt als auch thermische Sanierungen gegenüber dem heutigen Niveau – auf Grundlage der OIB 6 Richtlinie – forciert werden.

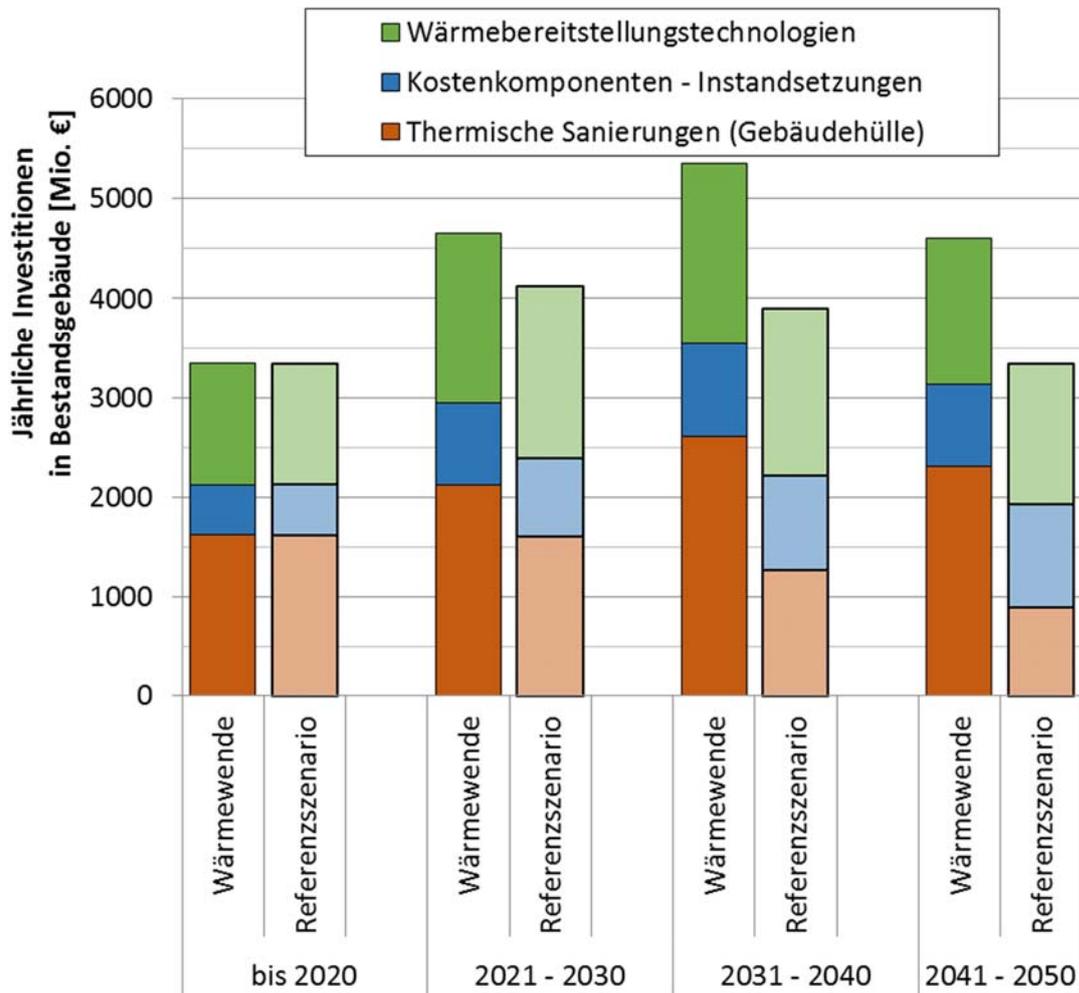


Abbildung 64. Investitionen in Bestandsgebäude

3.3 Investitionen in Wärmebereitstellungssysteme

Abbildung 65 zeigt die jährlichen Investitionen in verschiedene Wärmebereitstellungssysteme im Wärmewende-Szenario. Es ist ein moderater Anstieg der gesamten jährlichen Investitionssummen auf ca. 1,8 Mrd Euro bis zur Periode 2030-2040 nötig. Danach sinken die Investitionssummen wieder auf knapp über 1,4 Mrd Euro. Insgesamt sind zur Erreichung des Wärmewende-Szenarios keine wesentlich höheren Investitionen in Wärmebereitstellungssysteme zu tätigen, sondern es muss sich die Struktur der Investitionen grundlegend ändern. So werden im Wärmewende-Szenario nach 2025 keine Investitionen mehr in Öl- oder Kohlebetriebene Heizsysteme getätigt und die Investitionen in fossile Heizsysteme halbieren sich in der Periode 2030 bis 2040 und danach noch einmal in der Periode 2040 bis 2050.

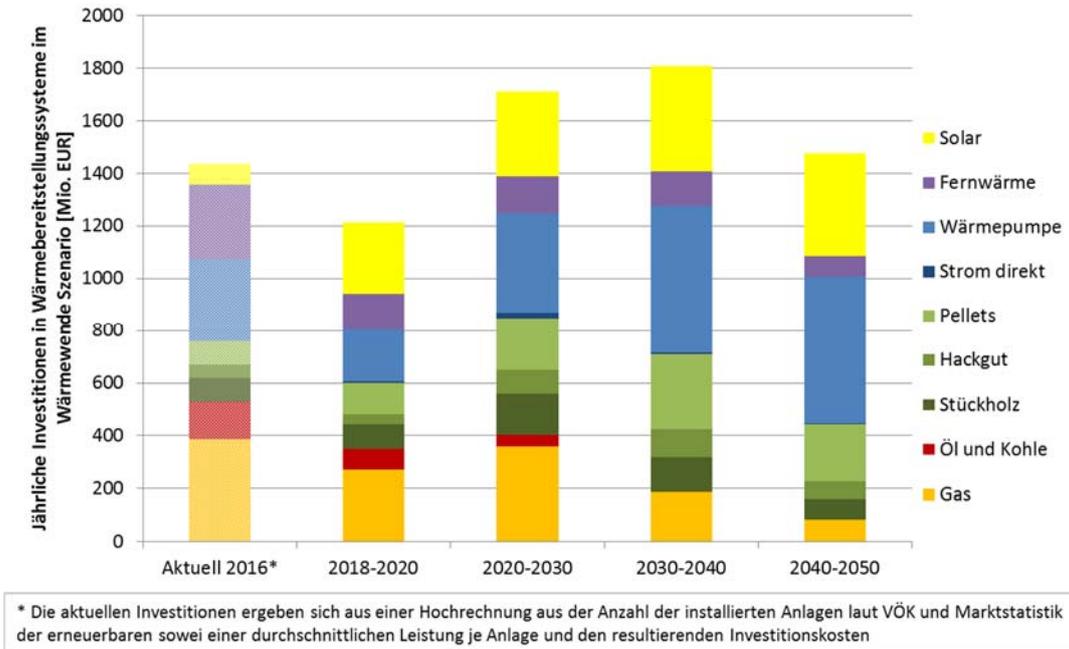


Abbildung 65. Jährliche Investitionen in Wärmebereitstellungssysteme im Wärmewende-Szenario

Abbildung 66 zeigt die Differenz der jährlichen Investitionen in die unterschiedlichen Wärmebereitstellungstechnologien im Wärmewende- gegenüber dem Referenzszenario. In die fossilen Technologien Gas, Öl und Kohle wird im Wärmewende-Szenario in allen Zeitperioden zwischen 2018 und 2050 deutlich weniger investiert als im Referenzszenario. In erneuerbare Systeme hingegen, wird wesentlich mehr investiert. Insgesamt steigen die Investitionen im Wärmewende-Szenario gegenüber dem Referenzszenario nur moderat an.

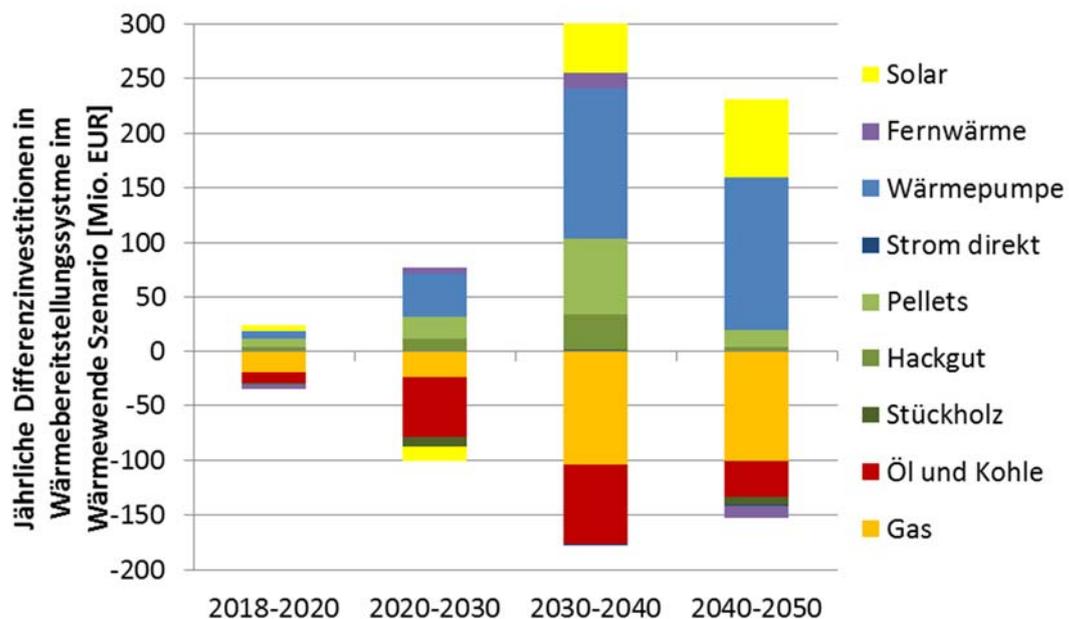


Abbildung 66. Jährliche Differenzinvestitionen in Wärmebereitstellungssysteme im Wärmewende-Szenario gegenüber dem Referenzszenario

3.4 Heizkostensparnis

Zur Berechnung der Heizkostensparnis wurde dieselbe Entwicklung der Energiepreise nach dem europäischen Referenzszenario (European Union, 2016) hinterlegt, welche auch für die Wirtschaftlichkeit der Heizsysteme in Kapitel 6.2 herangezogen wurden. Die Entwicklung dieser Haushaltsenergiepreise bis 2050 ist in Abbildung 67 dargestellt.

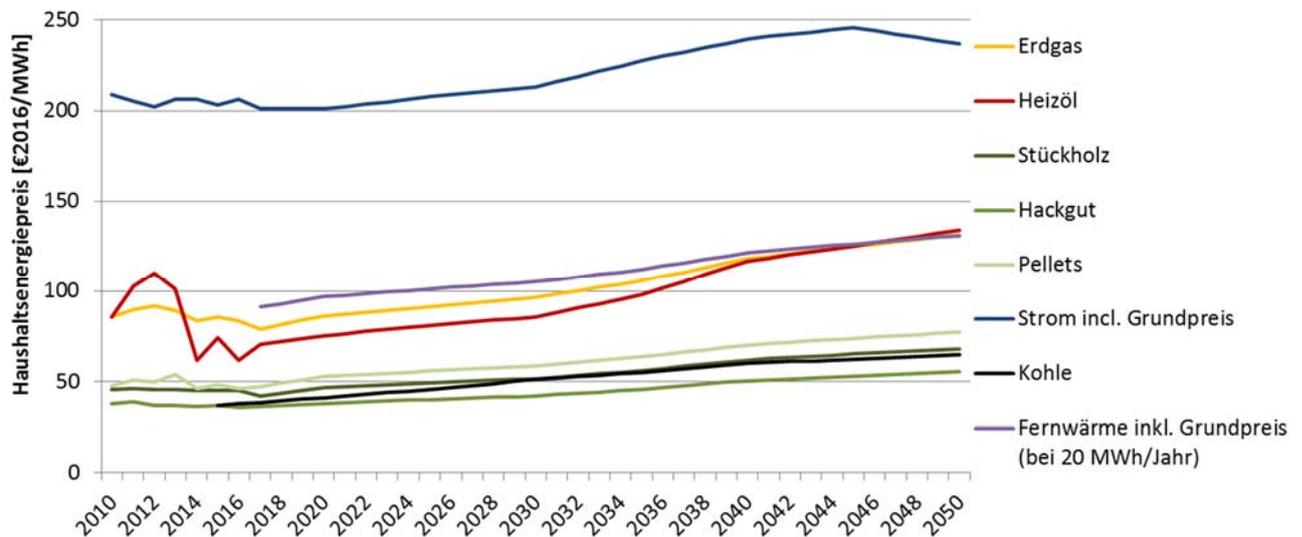


Abbildung 67. Energiepreisentwicklung im Wärmewende-Szenario (Entwicklung der Energiepreise nach dem europäischen Referenzszenario, European Union, 2016)

Abbildung 68 zeigt die jährlichen Energiekosten für Raumwärme und Warmwasser im Wärmewende-Szenario. Diese sinken von derzeit beinahe 9 Mrd. Euro auf unter 6 Mrd. Euro in der Periode 2040-2050. Insgesamt ist eine Verschiebung der gesamten Kosten für Wärmeanwendungen im Gebäudebereich von den laufenden Energiekosten hin zu Investitionskosten zu erwarten, da erneuerbare Systeme in der Regel höhere Investitionen erfordern, aber geringere laufende, variable Energiekosten aufweisen. Die höchsten Einsparungen an den laufenden Energieausgaben sind im Wärmewende-Szenario durch die geringere Anzahl an fossilen Heizsystemen aber auch durch den Ersatz von Strom als direktem Heizsystem zu erwarten. Die verbrauchsunabhängigen Betriebs- und Wartungskosten sind als Summe aller Heizsysteme dargestellt. Deren absolute Höhe sinkt ausgehend von ca. 850 Mio. Euro nur leicht, wodurch deren Anteil an den laufenden Kosten steigt.

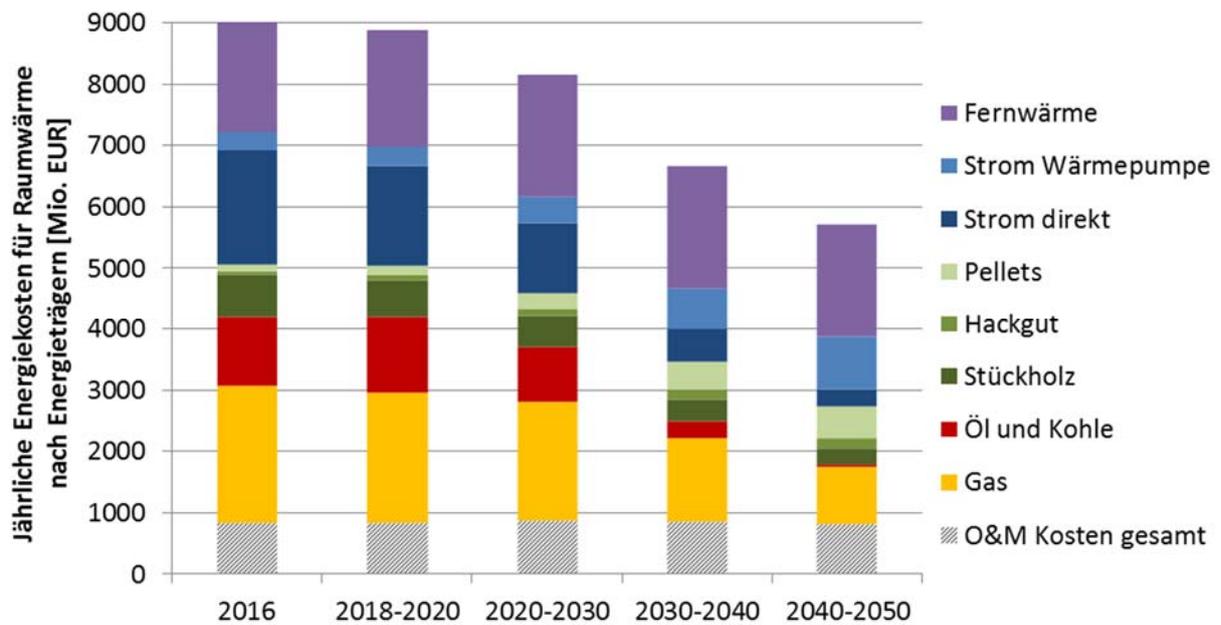


Abbildung 68. Jährliche Energieausgaben (auf Basis von Endverbraucherpreisen) nach Energieträgern im Wärmewende-Szenario

Abbildung 69 zeigt die Einsparungen an laufenden, jährlichen Energieausgaben im Wärmewende-Szenario gegenüber dem Referenzszenario. Dafür wurde für die Berechnung der anfallenden Energiekosten in beiden Szenarien dieselben Energiepreise hinterlegt (siehe Abbildung 67). Die dargestellte Differenz der jährlichen Energiekosten ergibt sich also rein aus den Energieeinsparungen durch thermische Sanierung und durch den Wechsel des Wärmebereitstellungssystems im Wärmewende-Szenario gegenüber dem Referenzszenario. Die zusätzlich angenommenen Investitionen in Sanierung im Wärmewende-Szenario nach 2025 machen sich bezahlt und bewirken durch den geringeren Wärmebedarf Einsparungen bei allen Heizsystemen außer bei Wärmepumpen deren Anzahl etwas stärker steigt als die eingesparte Energie.

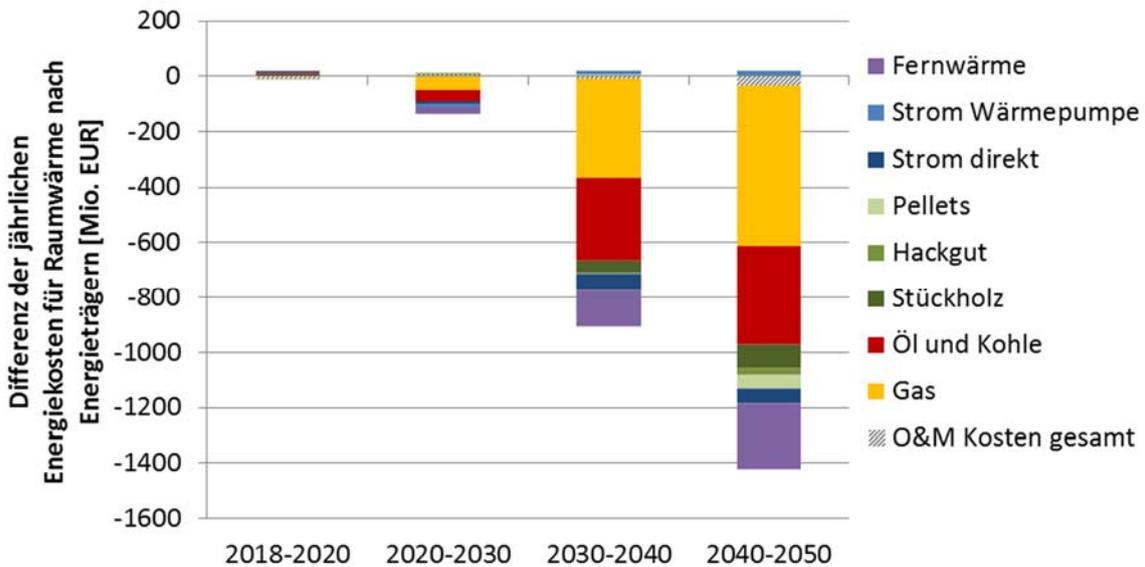


Abbildung 69. Differenz der jährlichen Energieausgaben (auf Basis von Endverbraucherpreisen) nach Energieträgern im Wärmewende-Szenario gegenüber Referenzszenario

Im Gegensatz zu Abbildung 69 sind in Abbildung 71 die differentiellen Energiekosten im Wärmewende-Szenario gegenüber den derzeitigen Energiekosten dargestellt. Somit sind darin auch Einsparungen enthalten, die sich aus der angenommenen Steigerung gegenüber den jetzigen Energiepreisen ergibt. Die Einsparungen durch den verminderten Einsatz fossiler Energieträger gegenüber den derzeitigen Ausgaben beträgt demnach bereits in der Periode 2020-2030 jährlich ca. 500 Mio. Euro und würde bis zur Periode 2040-2050 auf ca. 2500 Mio. Euro jährlich ansteigen. Neben den Einsparungen der Energiekosten für die fossilen Energieträger Gas und Kohle machen sich insbesondere auch die Einsparungen durch den Austausch von direkten Stromheizungen bemerkbar.

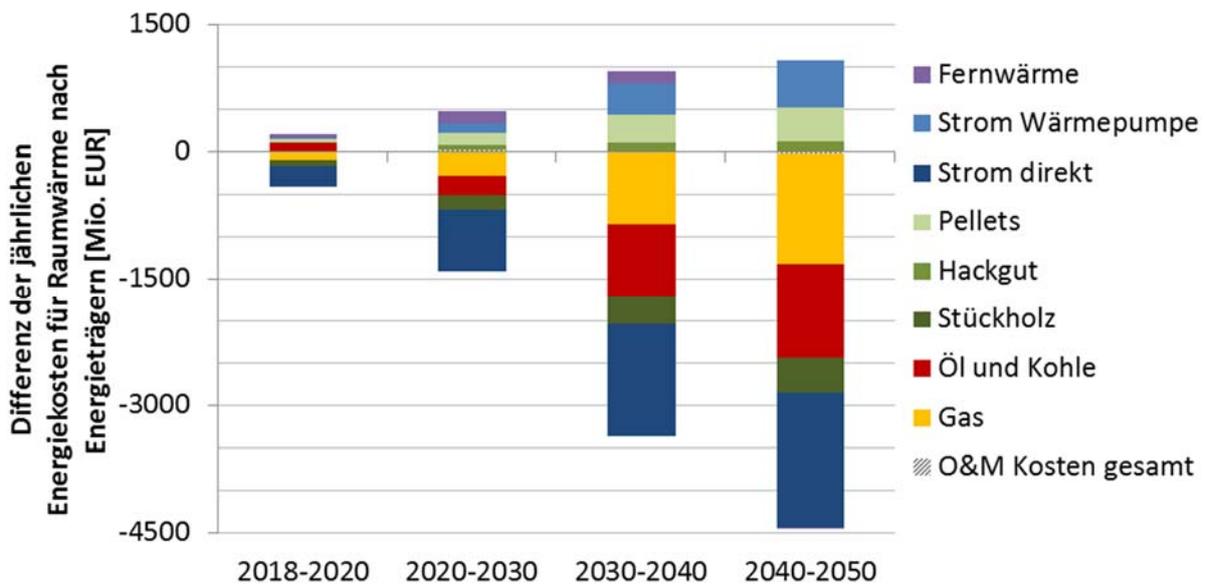


Abbildung 70. Differenz der jährliche Energiekosten Energieausgaben (auf Basis von Endverbraucherpreisen) nach Energieträgern im Wärmewende-Szenario gegenüber den derzeitigen Energiekosten

3.5 Bis 2050 wirksame Gesamtkosten der Wärmewende

In Abbildung 71 ist die Summe der zu tätigen Investitionen in Sanierungen und Wärmebereitstellungssysteme sowie die anfallenden Energie- und Betriebskosten zur Erreichung des Wärmewende-Szenarios dargestellt. Der Wert der zu tätigen Investitionen im jeweiligen Jahr wurde dazu anhand des Restwertes der Investition im Jahr 2050 bewertet: Für Investitionen in Sanierungen und Wärmebereitstellungssysteme wurde im jeweiligen Jahr der abgezinste Restwert der Investition im Jahr 2050 berücksichtigt. D.h., dass von einer Investition mit 20 Jahren Lebensdauer, die im Jahre 2040 getätigt wird, der Barwert des Restwertes im Jahr 2040 abgezogen wurde.

Zur Erreichung der Wärmewende sind zusätzliche Investitionen sowohl in thermische Sanierungen als auch in Wärmebereitstellungssysteme erforderlich. Die Verschiebung der Investitionen von fossilen zu erneuerbaren Wärmebereitstellungssystemen und die Verringerung des Wärmebedarfes haben einen starken Rückgang der laufenden Energiekosten zur Folge und führen ab 2030 insgesamt sogar zu einer Verringerung der Gesamtkosten.

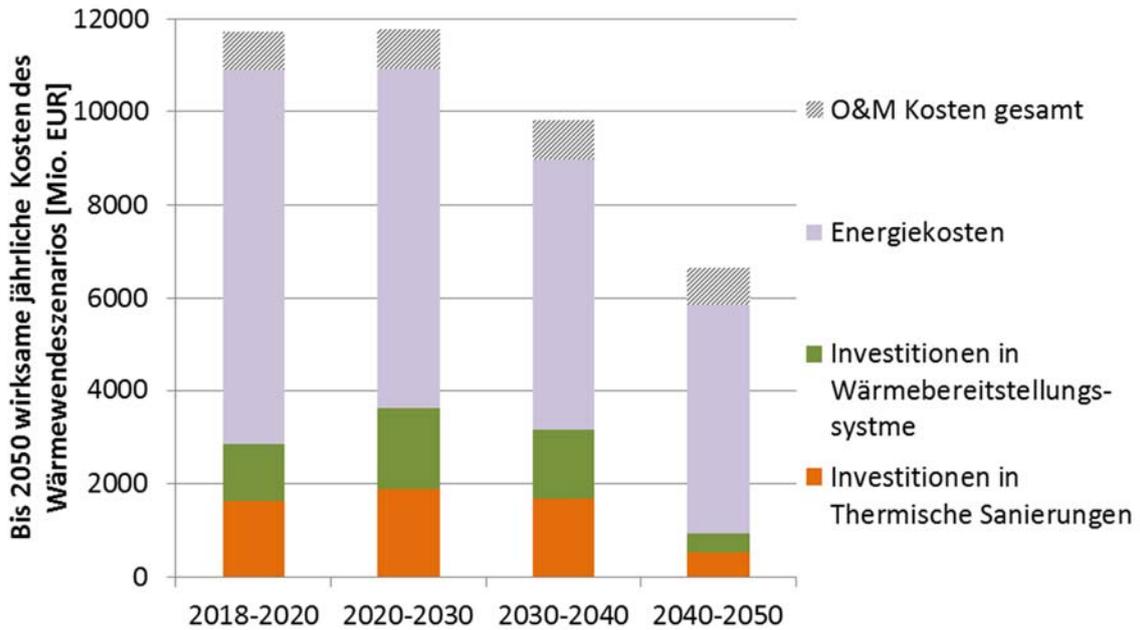


Abbildung 71. Bis zum Jahr 2050 wirksame jährliche Kosten des Wärmewende-Szenarios

In Abbildung 72 ist die Differenz der bis 2050 wirksamen jährlichen Kosten des Wärmewende-Szenarios gegenüber dem Referenzszenario dargestellt. In den Perioden 2020 bis 2040 sind jährliche Mehrinvestitionen nötig, die nach 2040 zu Einsparungen an den Energiekosten führen, welche die Investitionskosten übersteigen.

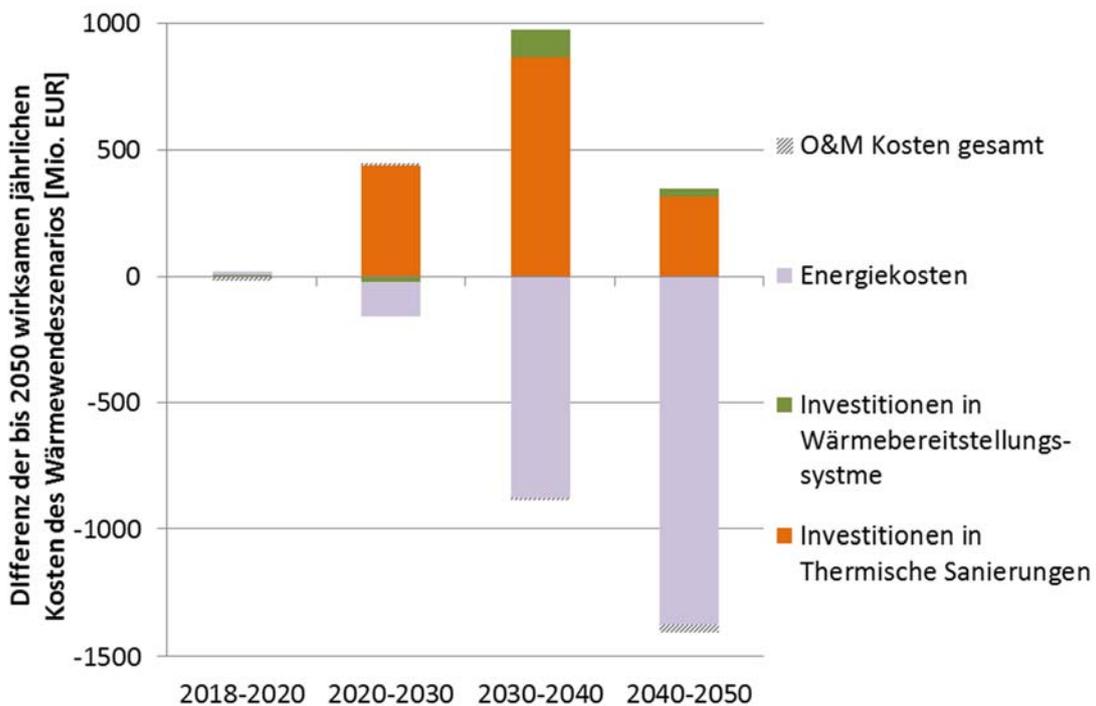


Abbildung 72. Differenz der bewerteten jährlichen Energiekosten der Heizsysteme im Wärmewende-Szenario gegenüber dem Referenzszenario

Zur Abschätzung der Gesamtkosten im Wärmewende-Szenario wurde in einem ersten Schritt der heutige Barwert aller bewerteten Investitionen und der Energiekosten bis 2050 berechnet. Wie eingangs beschrieben, wurde dafür zuerst der Restwert der Investitionen im Jahr 2050 ermittelt und dessen Barwert im Jahr der Investition von der Investition abgezogen. Für thermische Sanierung wurde dazu eine Lebensdauer von 30 Jahren und für Wärmebereitstellungssysteme von 20 Jahren angenommen. Für die so bewerteten Investitionen von 2018 bis 2050 und für alle entstehenden Energiekosten wurde dann der heutige Barwert ermittelt. Daraus ergibt sich bei einem Kalkulationszinssatz von 0,5% ein Barwert des Wärmewende-Szenarios von 299 Mrd. Euro inklusive Energiekosten und von 74 Mrd. Euro exklusive Energiekosten. Für das Referenzszenario hingegen ergeben sich Barwerte von 308 Mrd. Euro inklusive Energiekosten und von 62 Mrd. Euro exklusive Energiekosten. Rechnet man mit einem Kalkulationszinssatz von 3% ergibt sich für das Wärmewende-Szenario ein Barwert von 227 Mrd. Euro inklusive Energiekosten und von 62 Mrd. Euro exklusive Energiekosten und für das Referenzszenario von 228 Mrd. Euro inklusive Energiekosten und von 52 Mrd. Euro exklusive Energiekosten. Somit weist das Wärmewende-Szenario insgesamt einen gleichen oder sogar geringeren Barwert auf als das Referenzszenario und damit sind die CO₂ Einsparungen des Wärmewende-Szenarios mit gleichen oder sogar geringeren Gesamtkosten zu erreichen, als das Referenzszenario verursachen würde.

Die ökonomische Bewertung der beiden Szenarien bis zum Jahr 2050 unterliegt jedoch einer Reihe an Unsicherheiten, insbesondere hinsichtlich der tatsächlichen Entwicklung der Energiepreise, der Kosten für Sanierungen, energieeffizientem Neubau sowie möglicher Lerneffekte bei verschiedenen Technologien, die für diese Abschätzung konservativ angesetzt wurden.

3.6 Arbeitsplatzeffekte

Arbeitsplatzeffekte werden auf Basis der Kennzahlen aus den Jahresberichten „Innovative Energietechnologien in Österreich“ (Biermayr, 2016) und Branchendaten der Statistik Austria (Statistik Austria, 2015) abgeschätzt. Es werden ausschließlich primäre Brutto-Beschäftigungseffekte ermittelt, also Verluste von Arbeitsplätzen in anderen Branchen nicht gegengerechnet. Dazu werden die getätigten Inlandsinvestitionen zur Erreichung des Wärmewende-Szenarios - wie oben beschrieben - herangezogen und mit einem konstanten durchschnittlichen Beschäftigungsfaktor für die Investition multipliziert. Dieser durchschnittliche Beschäftigungsfaktor inkludiert bereits die gesamte Wertschöpfungskette der jeweiligen Technologie von der Produktion über den Handel bis zur Installation. Arbeitsplätze durch im Ausland getätigte Investitionen (Export) werden hier nicht berücksichtigt, aber durch die Verwendung eines konstanten Beschäftigungsfaktors

wird davon ausgegangen, dass sich die Anteile der Wertschöpfungskette (Export vs. Handel vs. Installation) nicht verändern.

Tabelle 5 zeigt die zu erwartende Beschäftigung im Wärmewende-Szenario basierend auf diesen Annahmen in den verschiedenen Branchen in Vollzeitäquivalenten. Die zusätzlichen Investitionen in thermische Sanierungen sowie der Umstieg von fossilen Heizsystemen auf Erneuerbare, führen demnach zu steigenden Beschäftigungszahlen in diesen Branchen von insgesamt ca. 27 000 in der Periode bis 2020 auf über 40 000 in der Periode 2030-2040 um dann wieder leicht auf ca. 37 000 in der Periode 2040-2050 abzusinken. Das bedeutet einen jährlichen Beschäftigungszuwachs von 2,5 % zwischen 2020 und 2030 und von 2,4 % zwischen 2030 und 2040.

Ein Vergleich der Beschäftigung in der Erzeugung, Verkauf und Installation von Biomassekesseln und Öfen gegenüber der Beschäftigung in den Biomassebrennstoffen zeigt, dass die zusätzlich zu Installierenden Biomasseanlagen die Anzahl der Beschäftigten stark ansteigen lässt, die Beschäftigung in der Herstellung von Biomasse Brennstoffen aber annähernd konstant bleibt, da der Bedarf an Biomasse durch die Energieeinsparungen und kleinere Anlagen insgesamt sogar sinkt.

Tabelle 5. Brutto-Arbeitsplatzeffekte des Wärmewende-Szenarios

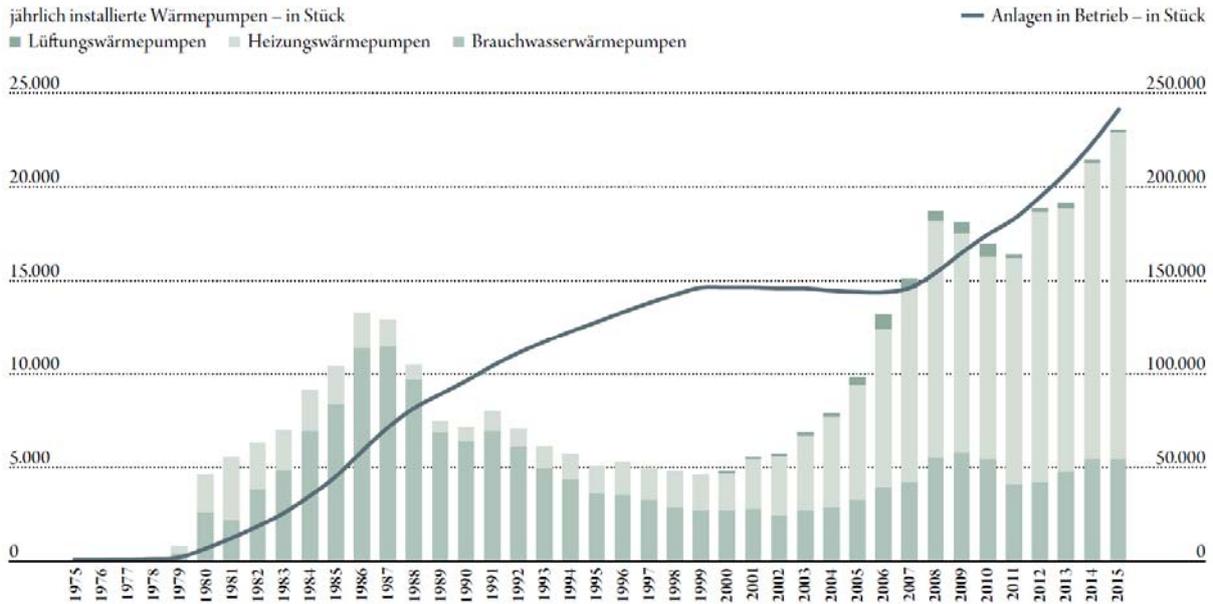
Branche	Jährliche Investitionen [Mio. EUR]				Beschäftigungs- multiplikator VZÄ/ Mio. EUR	Beschäftigung [Vollzeitäquivalente]			
	2018- 2020	2020- 2030	2030- 2040	2040- 2050		2018- 2020	2020- 2030	2030- 2040	2040- 2050
Thermische Sanierungen ¹⁴	1.622	2.126	2.606	2.306	8,70	14.103	18.486	22.661	20.048
Wärmepumpen	198	378	560	561	4,35	861	1.642	2.436	2.439
Solare Systeme	271	323	399	390	4,67	1.267	1.510	1.864	1.824
Biomasse Kessel und Öfen	250	446	521	361	4,17	1.043	1.856	2.170	1.506
Biomasse Brennstoffe	844	891	969	968	11,76	9.925	10.485	11.404	11.383

¹⁴ Der Beschäftigungsmultiplikator für Investitionen in thermische Sanierungen wurde aus den Branchendaten für sonstige Bautätigkeiten der Statistik Austria (Statistik Austria, 2015) berechnet

4 Sektorkopplung und die Rolle von Wärmepumpen

In diesem Kapitel wird die Rolle von Wärmepumpen im Wärmewende-Szenario mit Hinblick auf mögliche Auswirkungen auf das Stromsystem diskutiert. Wärmepumpen sind derzeit vor allem im Neubau eine oft gewählte Technologie. Derzeit werden jährlich mehr als 20.000 Wärmepumpen in Österreich installiert (Biermayr et al, 2017). Im österreichischen Gebäudebestand befanden sich im Jahr 2015 knapp 230.000 Raumwärme- und Brauchwasserwärmepumpen im Bestand wobei ein steigender Trend zu beobachten ist. (siehe Abbildung 73). Im Kontext der Wärmewende wird der Einsatz von Wärmepumpen durchaus kontroversiell diskutiert. Einerseits werden die ökologischen Auswirkungen des Einsatzes von Strom für Wärmepumpen aufgrund der derzeit noch hohen fossilen Anteile in der Stromerzeugung kritisch gesehen. Andererseits kann der vermehrte Einsatz von mit Strom betriebenen Wärmepumpen die Stromnachfrage gerade in Zeiten mit ohnehin hoher Nachfrage erhöhen. In einem stark auf fluktuierenden Erneuerbaren (v.a. PV und Wind) basierenden Stromsystem kann sich aus einer falschen großflächigen Anwendung von Wärmepumpen ein zusätzlicher Bedarf für teure Back-up Kapazitäten zur Abdeckung der Spitzenlasten ergeben. Umgekehrt wird der Wärmepumpe und generell Power to heat-Anlagen auch ein bedeutendes Potenzial als Flexibilitätsoption in einem zunehmend durch volatile Stromerzeugung geprägten Energiesystem zugeschrieben (siehe Totschnig et. al 2017).

In Hinblick auf diese Überlegungen wird in diesem Kapitel der sich im Wärmewende-Szenario ergebende Strombedarf aus Wärmepumpen bzw. allgemein Power to Heat im Gebäudebestand analysiert. Zunächst werden die möglichen Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen im Gebäudebestand dargestellt. In weiterer Folge wird der jährliche Lastverlauf aus Power to Heat im Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 im Wärmewende-Szenario abgeschätzt und daraus folgende Auswirkungen auf das Stromsystem diskutiert. Weiters werden Lastverschiebungspotentiale und die Rolle der Flexibilität von Wärmepumpen diskutiert.



Marktentwicklung der Wärmepumpen in Österreich in den Jahren 1975 bis 2015 – in Stück.
 Datenquelle: Biermayr et al. (2016)

Abbildung 73. Marktentwicklung der Wärmepumpen in Österreich. Quelle: Biermayr et al. 2016

4.1 Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen

Die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen hängt wesentlich von den erreichbaren Jahresarbeitszahlen, das heißt dem Verhältnis von über dem gesamten Jahr bereitgestellter Wärme zu eingesetztem Strom ab.

$$JAZ = \frac{\text{gesamter nutzbarer Wärmeoutput der Wärmepumpe}}{\text{jährlicher Stromverbrauch der Wärmepumpe}}$$

Die Jahresarbeitszahl ist ein Maß dafür, welcher Energieaufwand notwendig ist, um Umgebungswärme auf ein für die Wärmebereitstellung nutzbares Temperaturniveau zu bringen. Beispiel: Wenn der Wärmebedarf in einem Einfamilienhaus mit einem jährlichen Heizwärmebedarf von 15.000 kWh durch eine Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 3 versorgt wird ergibt das einen Strombedarf von 5.000 kWh jährlich. Die verbleibenden 10.000 kWh werden der Umgebungswärme der Wärmequelle zugeschrieben die durch Anhebung des Temperaturniveaus für die Wärmebereitstellung nutzbar wird.

Der Anteil der Umgebungswärme zählt dabei zu den erneuerbaren Energieträgern während der Strombedarf aufgrund relevanter Anteile fossiler Energieträger in der Stromerzeugung nicht vollständig als erneuerbar gezählt werden kann. Nur wenn der vollständige Strombezug aus erneuerbaren Energien nachgewiesen werden kann – ohne dabei auf am Markt überschüssige und daher billigst gehandelte Zertifikate

zurückgreifen zu müssen – ist es möglich, die Wärmeerzeugung durch Wärmepumpen als vollständig erneuerbare Wärmebereitstellung zu qualifizieren.

Die Jahresarbeitszahl hängt vor allem von der Vorlauftemperatur des Heizsystems im Gebäude sowie von der genutzten Wärmequelle ab. Aufgrund der hohen Relevanz dieses Einflussparameters sind die Einflussgrößen sowie unsere Annahmen zur Berechnung des Strombedarfs für Wärmepumpen im berechneten Wärmewende-Szenario im Folgenden beschrieben.

4.1.1 Definition der Systemgrenzen

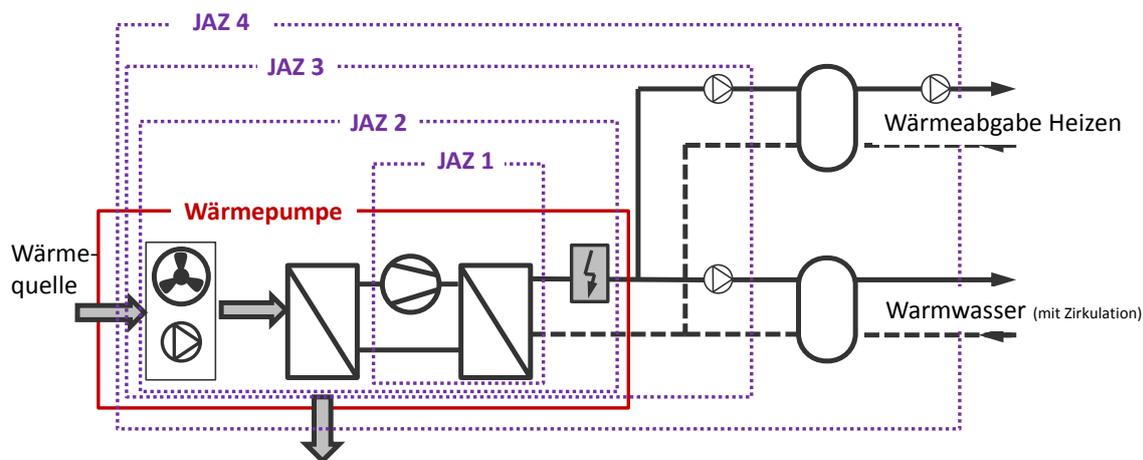


Abbildung 74. Definition der Systemgrenzen

Die vier definierten Jahresarbeitszahlen (JAZ) beinhalten die folgenden elektrischen Verbraucher:

- JAZ 1: Verdichter der Wärmepumpe und Wärmepumpensteuerung.
- JAZ 2: JAZ 1 zuzüglich Wärmequellenerschließung (Luftwärmepumpe: Ventilator, Erdssolewärmepumpe: Soleumwälzpumpe) und E-Heizstab (direkt in WP oder im Speicher).
- JAZ 3: JAZ 2, zuzüglich Umwälzpumpen.
- JAZ 4: JAZ 3, zuzüglich Speicherverluste und Umwälzpumpen (nach Wärmespeicher) zur Wärmeabgabe.

Im vorliegenden Bericht beziehen sich die für die Wärmepumpe ausgewiesenen Jahresarbeitszahlen auf die Systemgrenze gemäß JAZ 3. Hinsichtlich der Wärmeverluste der Speicherung, Verteilung und Abgabe wird angenommen, dass diese unabhängig vom jeweils gewählten Wärmeerzeugungssystem sind und daher den Endenergiebedarf aller untersuchten Systeme im selben Ausmaß beeinflussen.

4.1.2 Der Einfluss von Vorlauftemperaturen auf Arbeitszahlen von Wärmepumpen

Auf Basis von Literaturquellen (Miara et al., 2011; Schlader und Bischof, 2016; Biermayr et al., 2013, Benke et al., 2015) und Ergebnissen detaillierter thermodynamischer Simulationen (Müller et al., 2011) wurde für die Jahresarbeitszahlen (JAZ3) von Wärmepumpen unter typischen österreichischen klimatischen Bedingungen und Dimensionierung der Wärmequelle die in der folgenden Abbildung 75 (vereinfachte) Abhängigkeit von der durchschnittlichen Vorlauftemperatur des Wärmeverteilsystems in Gebäuden definiert. Die Vorlauftemperatur eines Wärmeverteilsystems entspricht der Temperatur des Wärmemediums (in den allermeisten Fällen Wasser) nach der Erhitzung durch das Heizungssystem. Aus thermodynamischen Gründen hängt die Arbeitszahl einer Wärmepumpe von der Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle (z.B. Außenluft oder Erdreichtemperatur) und der Wärmesenke (Vorlauftemperatur im Heizkreislauf) ab. Je niedriger diese Temperaturdifferenz (Spreizung) ist, desto effizienter kann eine Wärmepumpe arbeiten und desto niedriger ist der Stromverbrauch. Ist diese Temperaturspreizung viel zu hoch, so ist die Arbeitszahl und damit der Stromverbrauch einer Wärmepumpe nicht viel besser als die einer Stromdirektheizung.

In der Regel kann das Temperaturniveau der Wärmesenke (bei bereits zuvor gewählter Technologie) kaum beeinflusst werden, daher ist die Vorlauftemperatur des Wärmeverteilsystems die zentrale Größe, die im Wesentlichen die Arbeitszahl einer Wärmepumpe bestimmt. Wird ein Wärmeverteilsystem mit niedrigen Temperaturen (Flächenheizungssystem) verwendet, kann üblicher Weise von einem effizienten Betrieb ausgegangen werden. Mit davon abweichenden steigenden Vorlauftemperaturen sinkt die Jahresarbeitszahl und damit die Umwandlungseffizienz einer Wärmepumpe ab.

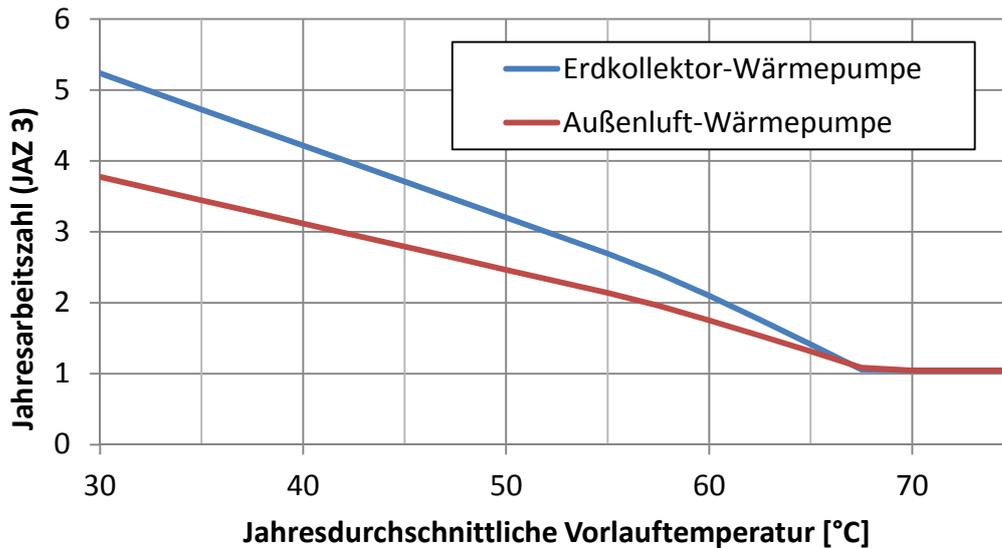


Abbildung 75. In den Berechnungen verwendeter Zusammenhang zwischen der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen und der durchschnittlichen Vorlauftemperatur des Wärmeverteilsystems in Gebäude.

Im realen Betrieb können diese Werte allerdings signifikant von den angenommenen Mittelwerten abweichen. Die in Abbildung 76 gezeigten Messdaten real installierter Wärmepumpen ergeben bei Vorlauftemperaturen von 50°C Jahresarbeitszahlen (JAZ3) für Außenluftwärmepumpen im Bereich von 2 bis 2,5, für Erdreichsonden-Wärmepumpen werden Jahresarbeitszahlen von etwa 2,8 bis 3,6 angegeben. Die im folgenden Kapitel gezeigten Auswertungen beziehen sich jeweils nur auf den in Abbildung 75 gezeigten Zusammenhang und zeigen damit jeweils die erwarteten mittleren Arbeitszahlen des österreichischen Gebäudebestands in Abhängigkeit der benötigten Vorlauftemperaturen in unterschiedlichen Gebäudeklassen.

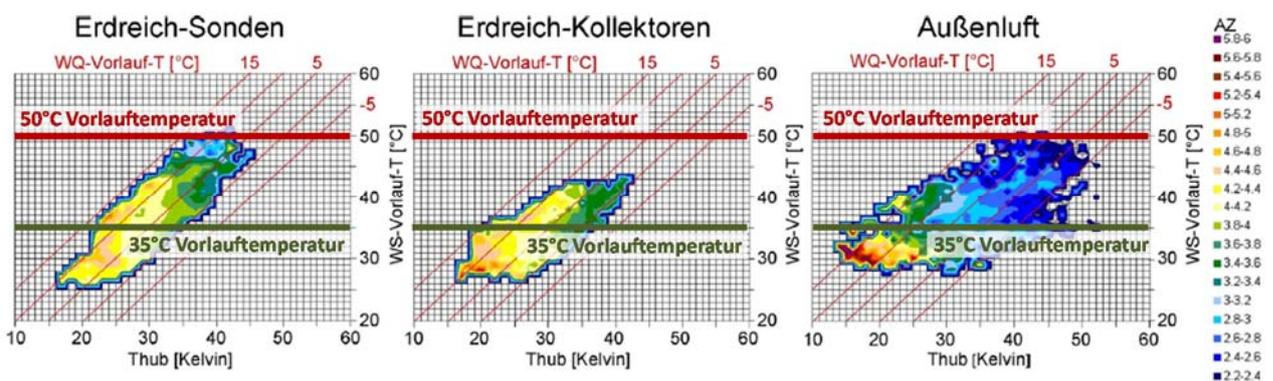


Abbildung 76. Gemessene durchschnittliche Arbeitszahlen von Wärmepumpen in Abhängigkeit von der Wärmequelle, Temperaturhub und Vorlauftemperatur der Wärmeverteilung (Quelle: Miara et al., 2011)

4.1.3 Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen im österreichischen Gebäudebestand

Unter Berücksichtigung der typischen Vorlauftemperaturen von österreichischen Gebäuden nach Bauperioden, ergeben sich die in Abbildung 78 bis Abbildung 81 dargestellten Jahresarbeitszahlen, aufgetragen über dem jährlichen Energiebedarf der entsprechenden Gebäude. Zur Berechnung der so dargestellten Jahresarbeitszahlen wurde eine dem durchschnittlichen österreichischen Klima ähnliche Klimazone (Wetterstation Kufstein) sowie eine durchschnittliche Heizperiodenlänge und Wärmequellendimensionierung herangezogen. Dieser Ansatz könnte insbesondere für Außenluftwärmepumpen eine unzulässige Vereinfachung darstellen. Einerseits haben die Klimazone und damit die Außentemperaturen während der Heizperiode einen direkten Einfluss auf die Wärmequellentemperatur. Andererseits hat der spezifische Heizwärmebedarf (HWB) auch einen Einfluss auf die Heizperiodenlänge. Je höher der spezifische HWB liegt, desto länger ist die Heizperiodenlänge. Damit steigt der Anteil des Wärmebedarfes an Tagen mit höheren Außentemperaturen, wodurch sich eine durchschnittlich höhere Wärmequellentemperatur und damit eine höhere Jahresarbeitszahl ergeben.

Deshalb wurde die Gültigkeit der in Abbildung 79 dargestellten Kurve auf Basis der einzelnen in der Datenbank abgebildeten Gebäude mit den jeweiligen monatlichen Außentemperaturen der Klimazonenvalidiert. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 77 dargestellt. Aus dieser Grafik geht hervor, dass die vereinfachte Darstellung in Abbildung 79 nicht an ihrer prinzipiellen Gültigkeit verliert und damit als Abschätzung für durchschnittliche Jahresarbeitszahlen herangezogen werden kann.

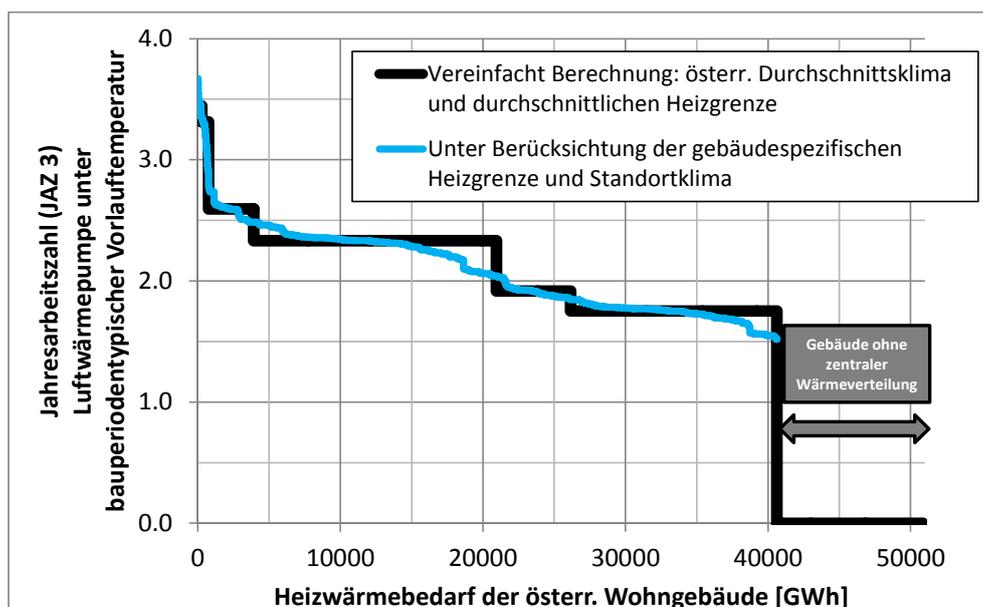


Abbildung 77. Jahresarbeitszahl von Luftwärmepumpen im österreichischen Gebäudebestand. Gegenüberstellung der vereinfachten Methode mit einer detaillierten Berücksichtigung von Heizgrenze und Standortklima.

Die folgenden Abbildungen zeigen die im Modell Invert/EE-Lab berechneten Jahresarbeitszahlen für den österreichischen Wohngebäudebestand für Luft- und Erdkolektor-Wärmepumpen jeweils für Gebäude mit einem Heizwärmebedarf zwischen 150-200 kWh/m² im unsanierten Bestand (Abbildung 78 und Abbildung 80) sowie für den gesamten Wohngebäudebestand (Abbildung 79 und Abbildung 81). Die schwarze Linie zeigt jeweils die Ausgangslage der Gebäude ohne Sanierung; die möglichen Jahresarbeitszahlen werden dazu sortiert (beginnend mit den höchsten JAZ) über den Heizwärmebedarf aufgetragen. Die grünen Linien zeigt die möglichen JAZ unter der Annahme, dass entweder zusätzliche Radiatorflächen (Senkung der Vorlauftemperaturen) installiert oder eine Renovierung der Gebäudehülle ohne Optimierung der Heizungsregelung und Wärmeverteilung vorgenommen wird. Die roten Linien zeigen die JAZ unter der Annahme, dass sowohl die Gebäudehülle thermisch saniert wird (Annahme einer Reduktion des Heizwärmebedarfs um 50 %) als auch die Regelung des Wärmeverteilsystems optimiert und ein hydraulischer Abgleich im Gebäude vorgenommen wird. Dazu wird in den Grafiken auch gekennzeichnet welche Annahmen für den Heizkostenvergleich in Kapitel 5.3 verwendet wurden.

Für Luftwärmepumpen zeigt sich, dass im unsanierten Gebäudebestand mit Heizwärmebedarfen über 150 kWh/m² der überwiegende Teil der Luftwärmepumpen nicht über eine JAZ 3 von 2 hinaus kommt (siehe Abbildung 78). Nur bei entsprechenden Sanierungsmaßnahmen sind JAZ 3 über 2,5 zu erreichen. Dies zeigt, dass der Einsatz von Luftwärmepumpen in Altbauten mit hohen Wärmebedarfen als nicht effizient einzustufen ist. Betrachtet man den gesamten Gebäudebestand (Abbildung 79) zeigt sich, dass in Kombination mit entsprechenden Sanierungsmaßnahmen zumindest für ca. 50 % des Heizwärmebedarfs JAZ 3 über 2,5 möglich sind. Ohne zusätzliche Sanierungsmaßnahmen liegen diese JAZ allerdings zum Großteil unter 2,5 und für mehr als 50 % des Wärmebedarfs bei unter 2. Im Neubau sind jedoch bei entsprechender Auslegung des Wärmeverteilsystems durchaus JAZ im Bereich von 3 oder eventuell darüber möglich. Abbildung 80 und Abbildung 81 zeigen die entsprechenden Auswertungen für Erdwärmekollektor-Wärmepumpen. Die JAZ liegen im Vergleich zu Außenluft-Wärmepumpen aufgrund der höheren Wärmequelltemperaturen entsprechend höher. Allerdings zeigt sich auch hier, dass die JAZ für einen Großteil der Bestandsgebäude nicht über 3 hinausgehen. Nur bei Neubauten bzw. in Kombination mit entsprechenden Sanierungsmaßnahmen sind JAZ im Bereich 4 für ca. 40 % des Wärmebedarfs in Wohngebäudebestand realistisch. Nicht berücksichtigt wurde hier bei dieser Darstellung allerdings die Verfügbarkeit von Erdwärme welche nicht für alle Wohngebäude, insbesondere in städtischen Räumen, gegeben ist.

Diese Annahmen liegen den Berechnungen im Wärmewende-Szenario zugrunde. Die JAZ der Wärmepumpensysteme bestimmen im Modell maßgeblich die laufenden

Kosten und damit auch die Entscheidung für Heizungssysteme je Gebäudeklasse im verwendeten Modell Invert/EE-Lab.

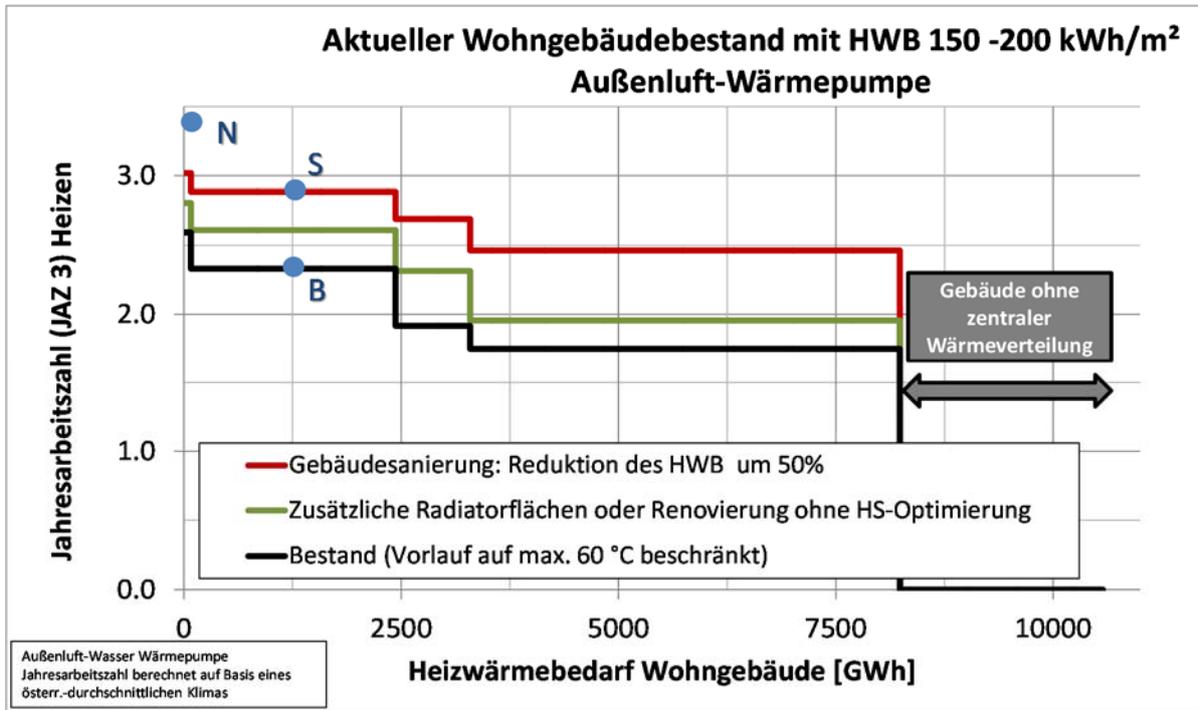


Abbildung 78. Jahresarbeitszahl von Luftwärmepumpen für den unsanierten Teil des österreichischen Gebäudebestands mit einem HWB von 150-200 kWh/(m²a). Die Punkte B, S und N stellen die gewählten JAZ-Werte für die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Kapitel 5.3 für die Referenzgebäude unsanierter Bestand (B), sanierte Gebäude (S) und Neubau (N) dar.

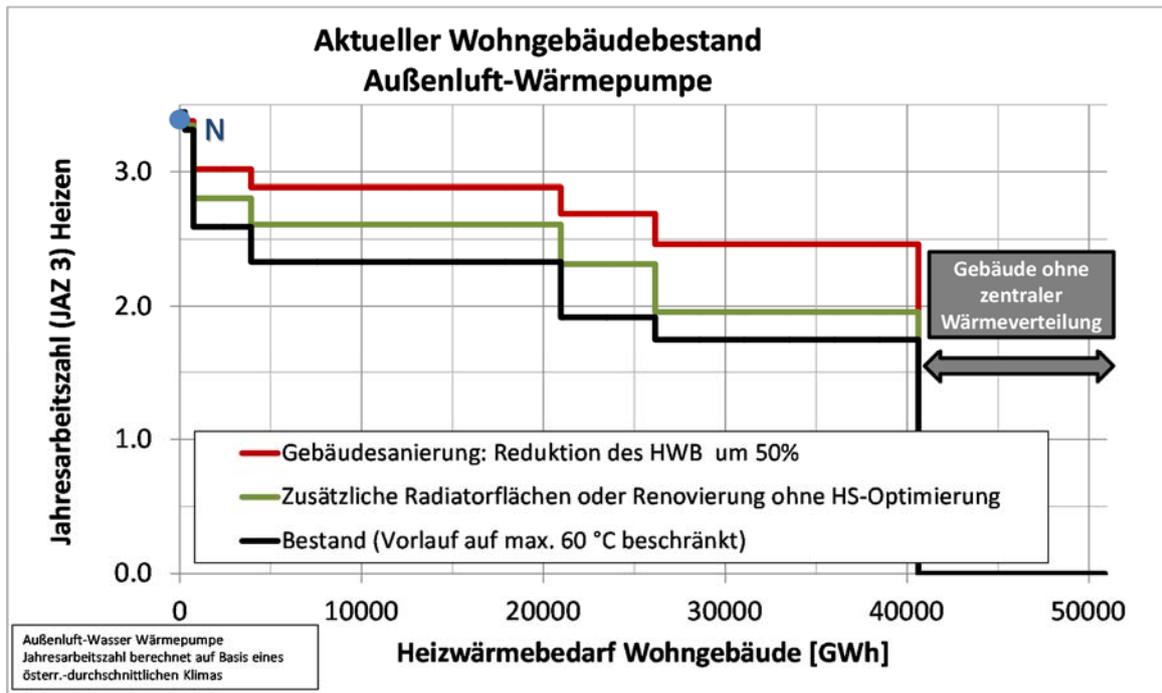


Abbildung 79. Jahresarbeitszahl von Luftwärmepumpen im österreichischen Gebäudebestand. Der Punkt N stellt den gewählten JAZ-Wert für die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Kapitel 5.3 für das Referenzgebäude Neubau dar.

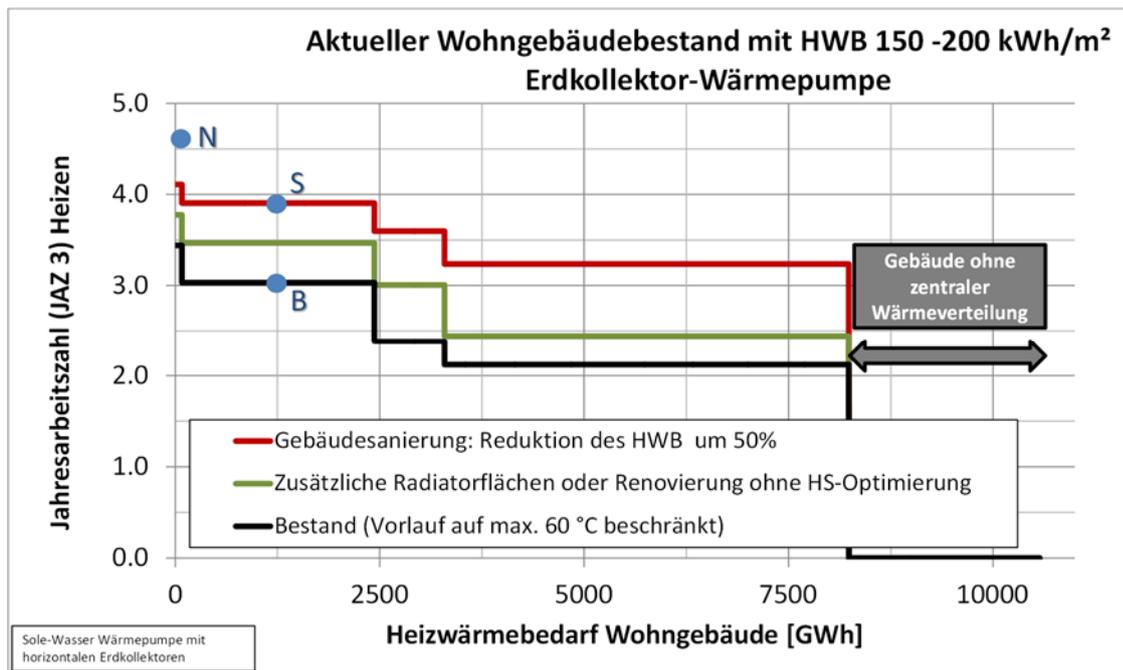


Abbildung 80. Jahresarbeitszahl von Erdkollektor-Wärmepumpen für den unsanierten Teil des österreichischen Gebäudebestands mit einem HWB von 150-200 kWh/(m²a). Die Punkte B, S und N stellen die gewählten JAZ-Werte für die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Kapitel 5.3 für die Referenzgebäude unsanierten Bestand (B), sanierte Gebäude (S) und Neubau (N) dar.

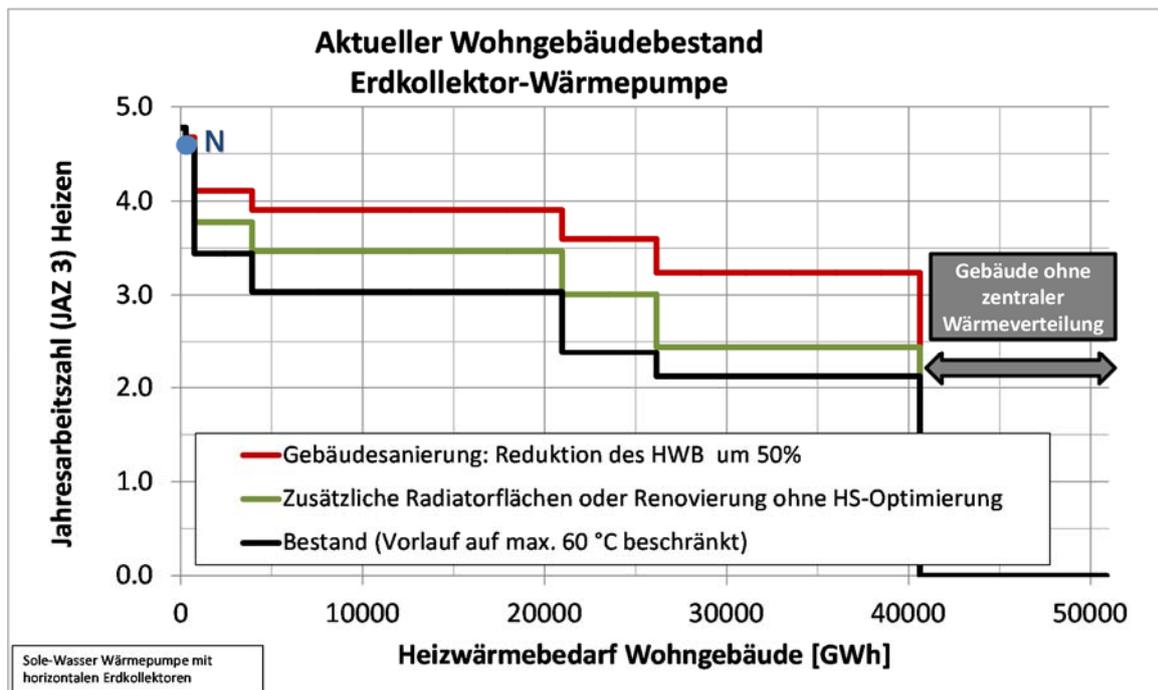


Abbildung 81. Jahresarbeitszahl von Erdkollektor-Wärmepumpen im österreichischen Gebäudebestand. Der Punkt N stellt den gewählten JAZ-Wert für die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Kapitel 5.3 für das Referenzgebäude Neubau dar.

4.2 Elektrische Lasten für Power to Heat bis zum Jahr 2050

Im folgenden Abschnitt wird anhand des bereits beschriebenen Szenarios dargestellt, wie sich der modellierte Ausbau von Wärmepumpen im österreichischen Gebäudebestand auf das österreichische Stromsystem auswirken kann.

Der Strombedarf für die Bereitstellung von Wärme ergibt sich aus der elektrischen Hilfsenergie zum Betrieb aller Heizungssysteme, dem Stromverbrauch von Wärmepumpen zur Deckung der Heizlast bzw. Bereitstellung von Warmwasser sowie aus dem Stromverbrauch von elektrischen Direktheizungen (Widerstandsheizungen, Nachtspeicherheizungen, Infrartheizungen) zur Deckung der Heizlast und Bereitstellung von Warmwasser.

Tabelle 6 zeigt eine Übersicht zur Anzahl der installierten Heizungssysteme in österreichischen Haushalten im Jahr 2015. Es zeigt sich ein signifikanter Anteil (5-6 %) von elektrischen Heizungen sowie von Wärmepumpen (ca. 7 %). Dazu kommen höhere Anteile von elektrischen Systemen im Bereich der Warmwasserversorgung. Abbildung 82 zeigt die Anteile des Energieträgereinsatzes der österreichischen Haushalte laut Statistik Austria 2015¹⁵ für die Bereitstellung von Raumwärme und

15

https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html

Warmwasser im Jahr 2015. Im Raumwärmebereich ergibt sich ein Anteil von 5.2% für Direktstromheizungen bzw. 2,8 % für Wärmepumpen (Umgebungswärme + Stromeinsatz in dieser Statistik). Die Anteile der elektrischen Warmwasserversorgung sind bedeutend höher. 27,1 % der Warmwasserversorgung erfolgt über Stromheizungen (Warmwasserspeicher/boiler). Der Anteil von Wärmepumpen an der Warmwasserversorgung der Haushalte wird von Statistik Austria mit 3,6 % abgeschätzt. Je nach Annahmen liegt allein der Strombedarf für Warmwasser und Raumwärme im Wohngebäudebereich exklusive Wärmepumpen bei ca. 5 TWh jährlich, was in etwa 8 % des österreichischen Strombedarfs entspricht. Der Strombedarf der Haushalte für Wärmepumpen ist aus dieser nicht direkt abzulesen, weißt derzeit jedoch noch geringere Anteile auf. Elektrische Direktheizungen weisen auch im Dienstleistungssektor und im Gewerbe hohe Anteile an der Wärmeversorgung auf, hier ist die Datenlage aber weitaus ungenauer.

Tabelle 6. Anzahl von Heizungssystem in österreichischen Haushalten 2015 (Quelle: Statistik Austria)

Energieträger	Wohnungen ("Hauptwohnsitze") insgesamt	Anteil
Holz, Hackschnitzel, Pellets, Holzbriketts	665,686	19 %
Kohle, Koks, Briketts	7,403	2 %
Heizöl, Flüssiggas	613,455	26 %
Elektr. Strom	214,478	8 %
Erdgas	909,985	26 %
Solar, Wärmepumpen	344,458*	1 %
Fernwärme	1,061,306	18 %
Zusammen	3,816,771	100 %

*Solarthermie und Wärmepumpen werden in der Statistik nicht unterschieden. Laut Biermayr (2016) waren im Jahr 2015 ca. 270.000 Wärmepumpen in österreichischen Haushalten in Betrieb.

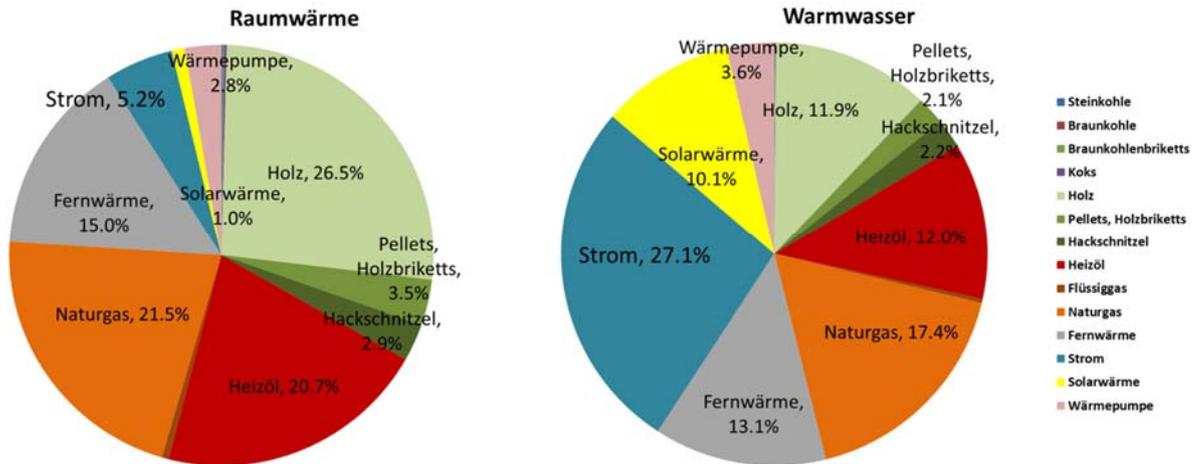


Abbildung 82. Anteile der Energieträger an Raumwärme- und Warmwasserversorgung der Haushalte in Österreich 2015/16. Quelle: Statistik Austria

Unabhängig von der weiteren Entwicklung der Wärmepumpen ist anzumerken, dass es in Österreich bereits jetzt signifikante Wechselwirkungen zwischen Wärmebedarf und Stromnachfrage gibt. Abbildung 83 zeigt die Temperatur auf der x-Achse sowie die dazugehörige Stromnachfrage als Scatter Plot basierend auf dem Wetterjahr 2010. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Spitzenlasten im Bereich von 10 GW in Österreich ausschließlich in Zeiten mit niedrigen Temperaturen ($< 0^{\circ}\text{C}$) auftreten. Stromspitzen in Zeiten von hohen Temperaturen aufgrund von Klimatisierung sind andererseits nur relativ gering ausgeprägt und liegen aktuell jedenfalls unter den Spitzenlasten bei geringen Temperaturen. Die Verbrauchsspitzen in Wintermonaten sind eine direkte Folge elektrisch bereitgestellter Heizlasten und treten vorwiegend zwischen 17h und 21h abends bzw. 7h bis 10h morgens auf.

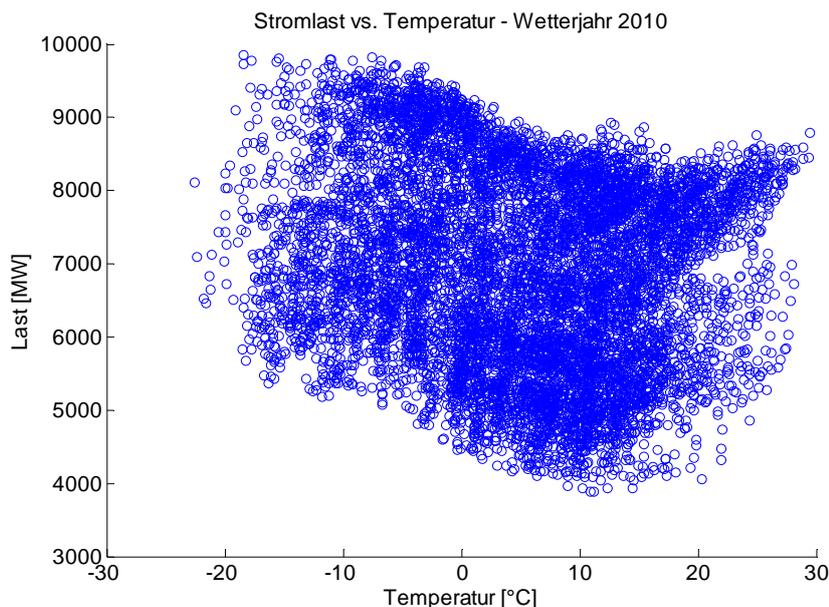


Abbildung 83. Zusammenhang zwischen Temperatur und Stromnachfrage aktuell in Österreich

Bei einem Anstieg der elektrisch bereit gestellten Heizlasten wäre damit auch mit höheren Jahreshöchstlasten im Stromsystem zu rechnen, womit relativ hohe Kosten verbunden sind, da das Stromsystem auf die Jahreshöchstlasten ausgelegt werden muss. Dies wird oft als Gegenargument für einen Ausbau dezentraler Wärmepumpen eingebracht. Während dieses Argument prinzipiell richtig ist, hängt die tatsächliche Belastung durch den Ausbau von Wärmepumpen von mehreren Faktoren wie ab. Z.B.:

- Arbeitszahlen der installierten Wärmepumpen bzw. Leistungszahl zum Zeitpunkt der Jahreshöchstlasten
- Entwicklung der Effizienz des Gebäudebestands
- Substitutionseffekte – welche Heizungen werden durch Wärmepumpen ersetzt?
- Betriebsweise und Flexibilität der Wärmepumpen

Unter Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren wird in den folgenden Kapiteln die Rolle von Power to Heat im Gebäudebestand mit Fokus auf Wärmepumpen im Wärmewende-Szenario quantifiziert und diskutiert.

4.2.1 Entwicklung des Strombedarfs für Wärme und Kälte des österreichischen Gebäudesektors im Wärmewende-Szenario:

In diesem Abschnitt wird die Entwicklung des Strombedarfs für Raumwärme und Warmwasser für die in Kapitel 3.2 beschriebene Entwicklung des Wärmebedarfs des österreichischen Gebäudebestands nach verwendeten Energieträgern im Wärmewende-Szenario dargestellt. Tabelle 7 zeigt eine Übersicht der berechneten Werte für die Jahre 2015, 2030 und 2050. Zum Vergleich wurde auch eine Abschätzung der Entwicklung des Strombedarfs für Raumkühlung hinzugefügt. Abbildung 84 zeigt eine graphische Auswertung der Szenarioergebnisse.

Im Ausgangsjahr 2015 ergibt sich ein Strombedarf von ca. 10,7 TWh für die Wärmebereitstellung im österreichischen Gebäudebestand. Davon entfallen ca. 6 TWh auf Wohngebäude und 4,7 TWh auf den Nicht-Wohngebäudebereich. 1,45 TWh (13,5 %) des Strombedarfs zur Wärmebereitstellung in Gebäuden entfallen auf den Betrieb von Wärmepumpen. Der Großteil ist auf den Betrieb von elektrischen Boilern, Stromradiatoren, Nachspeicherheizungen und sonstige mit Strom betriebene Heizungssysteme zurückzuführen.

In dem berechneten Wärmewende-Szenario zeigt sich, dass unter den getroffenen Annahmen trotz des Anstiegs der strombetriebenen Wärmepumpen ein deutlicher Rückgang des Strombedarfs für die Wärmebereitstellung im Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 zu erwarten ist. Obwohl der Strombedarf für Wärmepumpen um das 2,5-fache auf 3,7 TWh im Jahr 2050 steigt, halbiert sich der gesamte Strombedarf für die

Wärmebereitstellung im Gebäudesektor. Dies ergibt sich aus den folgenden Entwicklungen:

- Geringerer Wärmebedarf aufgrund der erwarteten Klimaveränderung
- Effizienzsteigerungen in Bestandsgebäuden
- Vorwiegender Einsatz von Wärmepumpen im Neubau mit hoher Energieeffizienz
- Substitution von ineffizienten elektrischen Heizungssystemen durch Wärmepumpen
- Reduktion des Strombedarfs durch den verstärkten Einsatz von Solarthermie in Kombination mit elektrischen Systemen

Die Szenarioergebnisse zeigen ebenfalls die steigende Bedeutung des Strombedarfs für Raumkühlung, die allerdings nicht im Fokus dieser Untersuchung stand.

Tabelle 7. Strombedarf für Raumwärme, Warmwasser und Raumkühlung im Wärmewende-Szenario in GWh_{el} für die Jahre 2015, 2030 und 2050. Quelle: eigene Berechnungen mit Invert/EE-Lab.

		2015	2030	2050
Wohngebäude	Raumkühlung	91	224	388
	Wärmepumpen - Warmwasser	225	497	925
	Elektrisch Direkt - Warmwasser	2756	1037	74
	Wärmepumpen - Heizen	1033	1401	1836
	Elektrisch Direkt - Heizen	1996	1051	374
	Strombedarf Wärme	6009	3987	3208
	Strombedarf Wärme+Kühlung	6100	4210	3596
Nicht-Wohngebäude	Raumkühlung	614	1070	1750
	Wärmepumpen - Warmwasser	8	44	116
	Elektrisch Direkt - Warmwasser	479	173	8
	Wärmepumpen - Heizen	178	407	872
	Elektrisch Direkt - Heizen	4065	1650	440
	Strombedarf Wärme	4729	2274	1436
	Strombedarf Wärme+Kühlung	5344	3344	3186
Gesamt	Raumkühlung	705	1294	2138
	Wärmepumpen - Warmwasser	233	541	1041
	Elektrisch Direkt - Warmwasser	3235	1210	82
	Wärmepumpen - Heizen	1211	1808	2707
	Elektrisch Direkt - Heizen	6060	2701	814
	Strombedarf Wärme	10739	6261	4644
	Strombedarf Wärme+Kühlung	11443	7554	6782

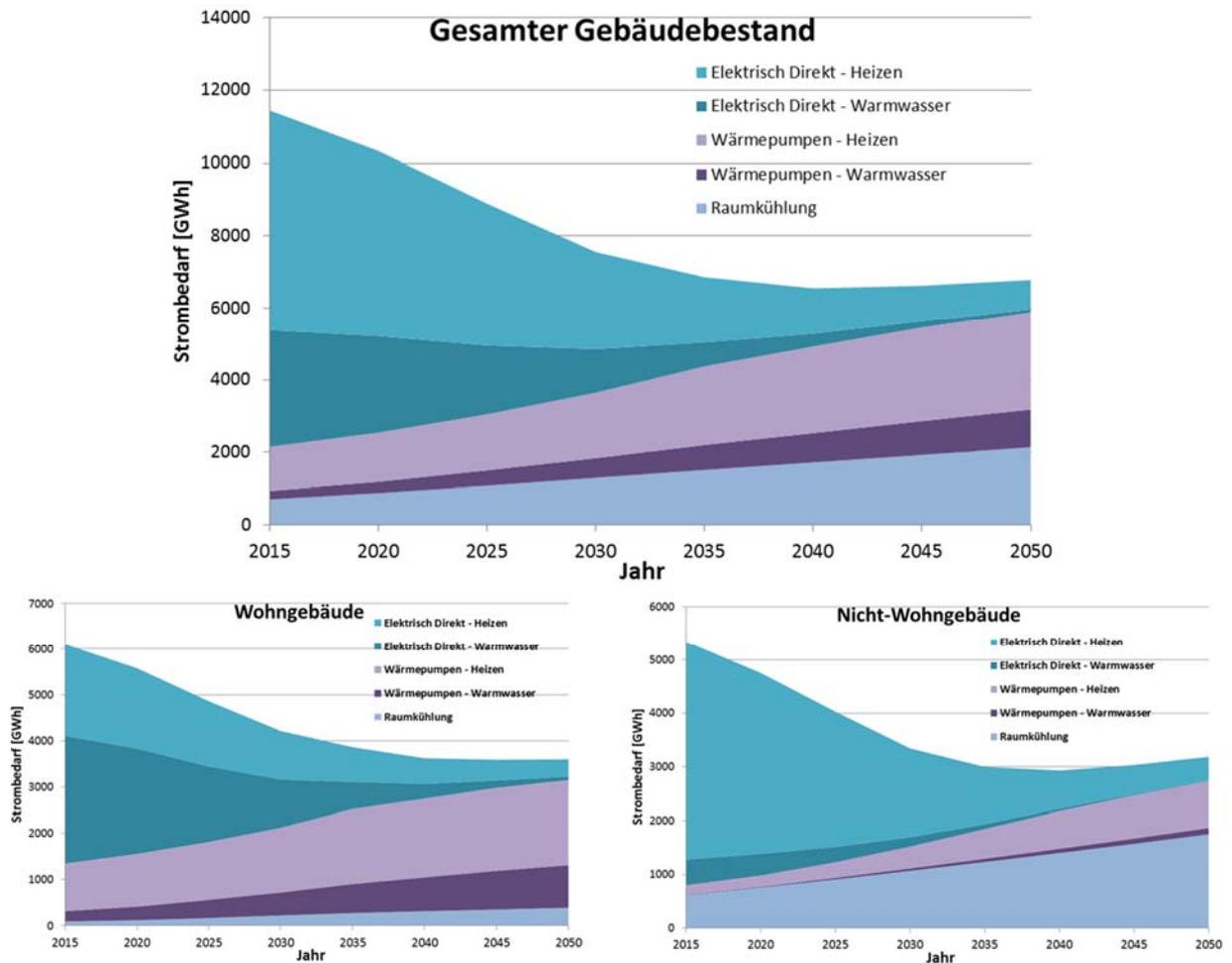


Abbildung 84. Entwicklung des Strombedarfs nach Technologie für Wärme und Kälte im Wärmewende-Szenario.

4.2.2 Stündliche Lasten des Strombedarfs für Power to Heat in Österreich

Zur Veranschaulichung und Analyse der Auswirkungen elektrisch betriebener Heizungssysteme auf die österreichische Stromnachfrage wurden die jährlichen Strommengen in stündliche Lastprofile transformiert und der Gesamtstromnachfrage gegenübergestellt.

Dazu wurde ein Softwaretool des Fraunhofer Instituts ISI verwendet. Das Modell eLOAD¹⁶ wandelt mithilfe von Wetterdaten und einer Datenbank für Lastprofile unterschiedlicher Technologien, Prozesse und Endanwendungen jährliche Energiemengen in stündliche Lasten für ein gewähltes Wetterjahres um. Für diese Analyse wurde das Wetterjahr 2010 herangezogen. Die jährlichen Energiemengen aus den Szenarioergebnissen wurden den entsprechenden Lastprofilen für Wärmepumpen, Elektroheizungen und Nachtspeicherheizungen (Annahme: 20 % des Strombedarfs für elektrische Heizungen der Haushalte entfällt auf

¹⁶ <https://www.forecast-model.eu/forecast-en/index.php>

Nachtspeicherheizungen) jeweils für Warmwasser und Raumheizung sowie getrennt für Haushalte und Dienstleistungsgebäude zugeordnet. Die hinterlegten Lastprofile für Wärmepumpen und Elektroheizungen und Nachtspeicherheizungen zur Raumwärmebereitstellung basieren auf temperaturabhängigen Leistungskennwerten die jeweils für jede Stunde am Tag unterschiedlich parametrisiert werden. Die Lastprofile sollen dabei das Aggregat inklusive der Gleichzeitigkeitseffekte einer Vielzahl von Haushalten abbilden und modellieren nicht den Lastverlauf einzelner Gebäude. Für den Lastverlauf der Wärmepumpen ist auch die verwendete Wärmequelle entscheidend da vor allem Luftwärmepumpen zu höherer Lastspitzen als Erdwärmepumpen führen. Die zukünftigen Anteile von Luft- bzw. Erdwärmepumpen sind allerdings mit großen Unsicherheiten verbunden. Für Wärmepumpen wurde daher ein Lastprofil unter der vereinfachten Annahme eines Anteils von 50 % Erdwärme und 50 % Luftwärmepumpen verwendet, welches die geringeren Leistungszahlen der Luftwärmepumpen bei sehr geringen Außentemperaturen zumindest teilweise abbildet. Die Lastprofile der Warmwasserbereitstellung basieren auf saisonal unterschiedliche Tageslastprofile für Werktage, Wochenende und Feiertage.

Abbildung 85 zeigt den aus den Lastprofilen resultierenden Lastverlauf für das Jahr 2015 nach Technologien sowie kumuliert für den gesamten Strombedarf zur Wärmebereitstellung in Gebäuden (Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude) sowie getrennt für Raumwärme und Warmwasser. Für die Darstellung wurde eine gesamte Winterwoche gewählt. In der Abbildung zeigt sich der zeitlich verschobene Einsatz der Nachtspeicherheizungen (Leistungsspitzen zwischen 1 Uhr und 3 Uhr früh) im Vergleich zu Direktheizungen. Aufgrund dieser ergeben sich für das Jahr 2015 auch relativ hohe elektrische Leistungsspitzen in den Nachstunden zwischen 0.00 Uhr und 6.00 Uhr. Sowohl das Profil der elektrischen Direktheizungen als auch der Wärmepumpen weisen Leistungsspitzen in den morgen sowie in den Abendstunden auf. Gesamtleistungsspitzen liegen im Bereich von 3,5 GW. Bei Jahreshöchstlasten im Bereich zwischen 10 GW und 11 GW wird klar, dass elektrisch bereit gestellte Wärme eine der wichtigsten Faktoren für die Entwicklung der zukünftigen Jahreshöchstlasten darstellt. (siehe Abschnitt 4.3 zur Diskussion der Auswirkungen auf das Stromsystem)

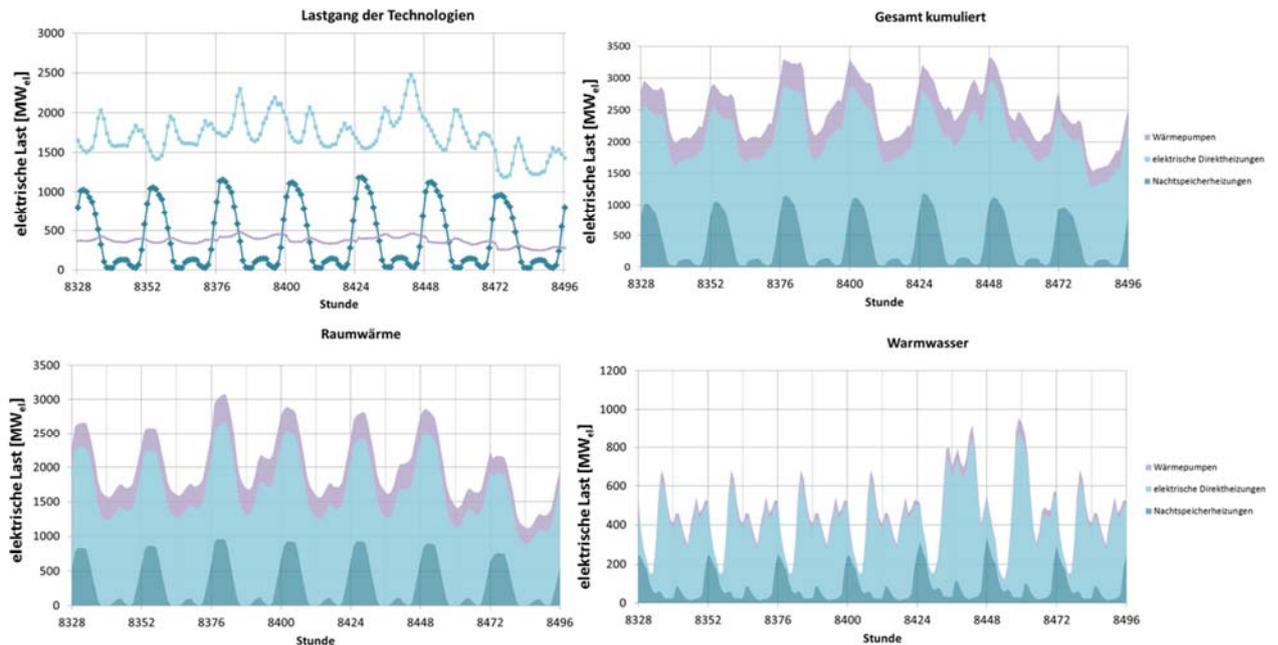


Abbildung 85. Elektrische Lasten zur Wärmebereitstellung im österreichischen Gebäudebestand für eine beispielhafte Winterwoche im Jahr 2015. Oben: Lastgang der einzelnen Technologien (links) und die kumulierte elektrische Gesamtlast (rechts). Unten: kumulierte Lasten getrennt für Raumwärme und Warmwasser.

In Abbildung 86 werden die gleichen Auswertungen für die angenommenen Entwicklungen im Wärmewende-Szenario für das Jahr 2050 dargestellt. Die Wärmepumpen bestimmen nun den Strombedarf für elektrische Wärme während Stromdirektheizungen und Nachspeicherheizungen nur mehr geringe Anteile aufweisen. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Lastprofile nicht verändert wurden und auch keine potentiellen Lastverschiebungen von Wärmepumpen berücksichtigt wurden. Insgesamt gehen die Leistungsspitzen in diesem Szenario aber bereits ohne Lastverschiebungen deutlich zurück. Die Leistungsspitze durch Power to Heat im Gebäudebestand reduziert sich von ca. 3,5 GW im Jahr 2015 auf etwa 1,5 GW (siehe Abbildung 87). Durch Lastverschiebungen vor allem bei der Bereitstellung von Warmwasser können diese Lastspitzen noch weiter gesenkt werden (siehe Abschnitt 4.5).

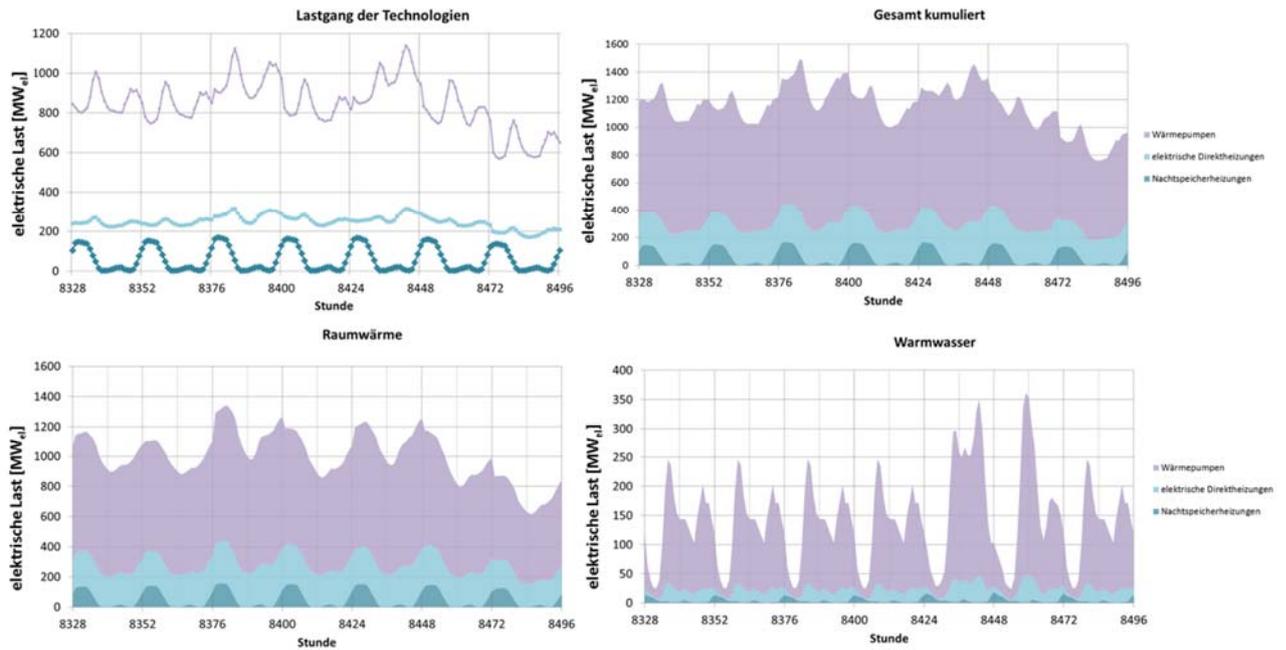


Abbildung 86. Elektrische Lasten zur Wärmebereitstellung im österreichischen Gebäudebestand für eine beispielhafte Winterwoche im **Jahr 2050** basierend auf Ergebnissen des Wärmewende-Szenarios.

In Abbildung 87 wird noch einmal der Lastverlauf für Power to Heat im Gebäudebestand für das gesamte Ausgangsjahr 2015 sowie für die Jahre 2030 und 2050 im Wärmewende-Szenario dargestellt. Die Reduktion des Strombedarfs sowie die Reduktion der Leistungsspitzen sind deutlich ersichtlich.

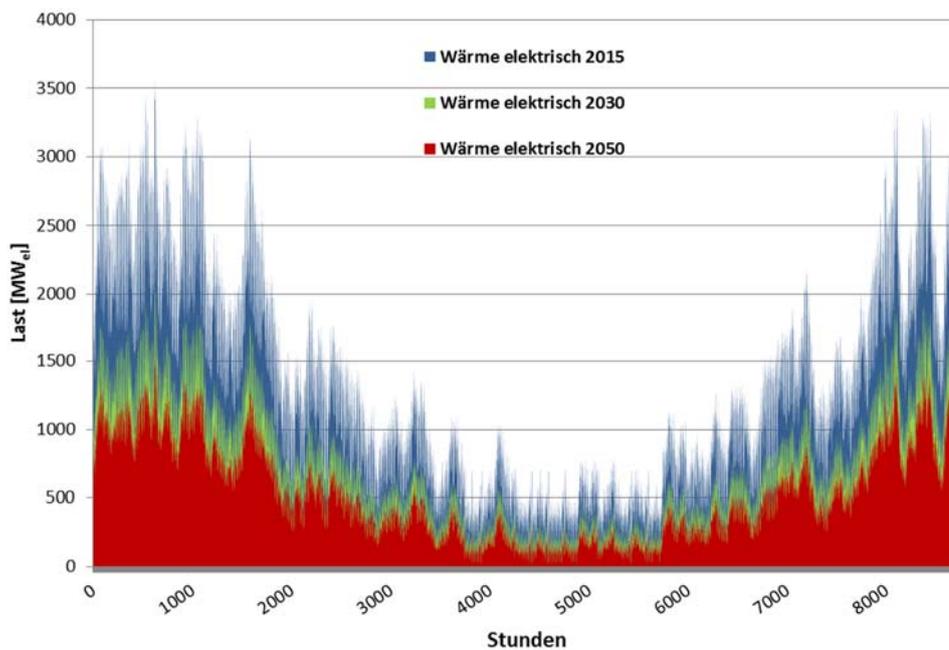


Abbildung 87. Strombedarf für die Wärmebereitstellung im Wärmewende-Szenario für die Jahre 2015, 2030 und 2050.

4.3 Auswirkungen auf das Stromsystem

In diesem Abschnitt wird die Rolle von Power to Heat im Gebäudesektor im gesamten Stromsystem diskutiert. Abbildung 88 zeigt die errechneten Lastprofile im Vergleich zur gesamten Stromlast bei einer jährlichen Stromnachfrage von 65 TWh an. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Jahreshöchstlasten im Bereich von 10 GW durch die zusätzliche Leistungsaufnahme der elektrischen Wärmebereitstellung entstehen. Die Anteile an den Jahreshöchstlasten liegen aktuell im Bereich von 30 % bis 40 % der Jahreshöchstlasten. In der Abbildung wird noch einmal der Rückgang der Last aus Power to Heat dargestellt. Die abgebildeten Flächen sind nicht additiv zu sehen, die Lastkurve aus 2050 überlagert die Lastkurven aus 2030 bzw. 2015. Es ist deutlich zu sehen, dass sich in diesem Szenario der Anteil von Power to Heat des Gebäudebestands am Strombedarf stark reduzieren würde und damit auch der daraus resultierende Bedarf an gesicherter Leistung im Stromsystem im Vergleich zur derzeitigen Situation tendenziell entlasten werden würde. Die im Wärmewende-Szenario angenommene Entwicklung der Wärmepumpen ist damit hinsichtlich der Kapazitäten des Stromsystems als realistisch durchführbar einzustufen.

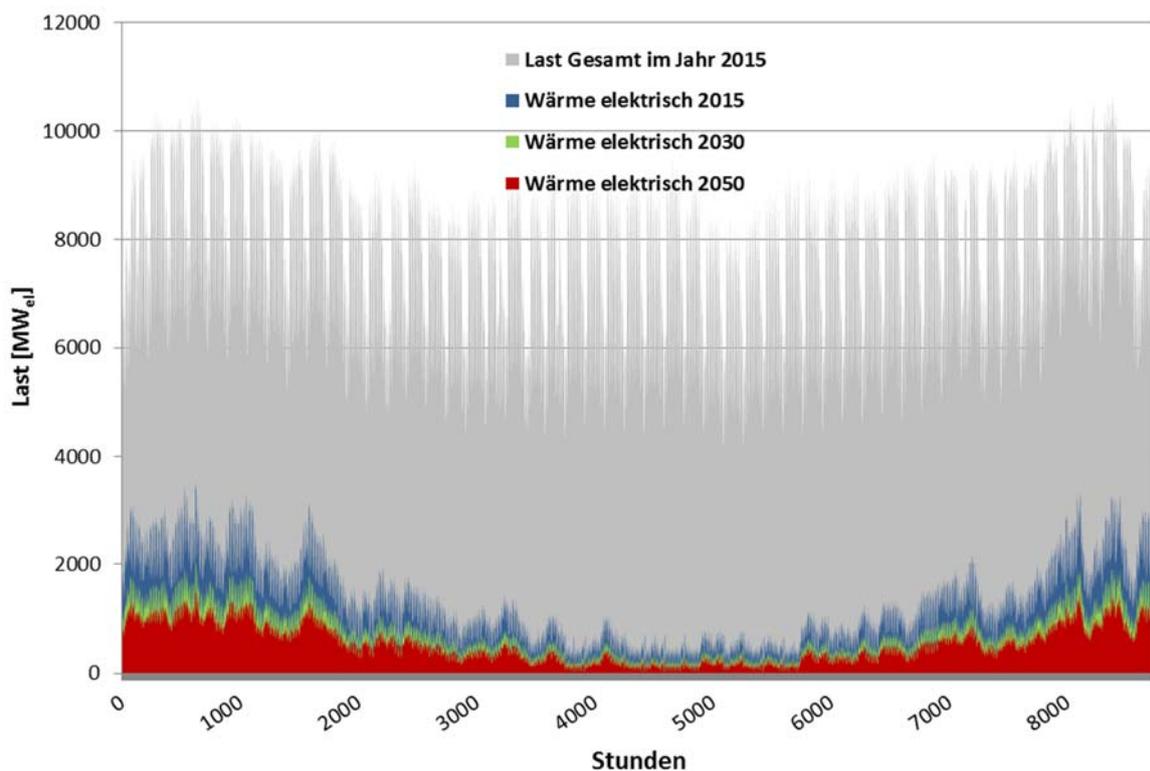


Abbildung 88. Lastverlauf der Stromnachfrage in Österreich im Jahr 2015 und Last aus Power to Heat im Gebäudebestand im Wärmewende-Szenario für die Jahre 2015, 2030 und 2050

In zusätzlichen Auswertungen wurden auch die möglichen Auswirkungen der steigenden Nachfrage nach Raumkühlung untersucht. Es zeigt sich, dass bei stark

zunehmenden Raumkühlungsbedarf durch die bei steigenden Temperaturen erwartete Diffusion von Klimageräten die elektrischen Lastspitzen in Zukunft auch in Österreich in den Sommermonaten auftreten können. Dies wird in Abbildung 89 veranschaulicht. Links wird die Last für 2015 und die Last im Jahr 2050 inklusive der Veränderungen in der Stromnachfrage durch Power to Heat und Raumkühlung sowie der angenommene stündliche Temperaturverlauf gezeigt. Die Abbildung rechts zeigt die jeweiligen Lasten bei unterschiedlichen Temperaturen. Auch in dieser Darstellung ist zu erkennen, dass die Lastspitzen in besonders kalten Stunden des Jahres aufgrund des Rückgangs des Strombedarfs für elektrische Direktheizungen zurückgehen. Der steigende Raumkühlungsbedarfs (von 0,7 TWh im Jahr 2015 auf 2,1 TWh im Jahr 2050) führt jedoch zu hohen Lasten in den Sommermonaten vor allen an Mittags- und Nachmittagsstunden. Die durch Raumkühlung hervorgerufenen Lastspitzen belaufen sich in diesem Szenario und dem gewählten Lastprofil auf etwa 2 GW. Während ein relativ großer Teil dieser Kühllasten in diesen Stunden voraussichtlich durch einen starken Ausbau der Photovoltaik gedeckt werden kann, kann es in den Abendstunden bei geringerer Sonneneinstrahlung zu sehr hohen Nachfragespitzen kommen, die in Zukunft sogar über den durch Power to Heat im Gebäudebereich hervor gerufenen Lastspitzen liegen können.

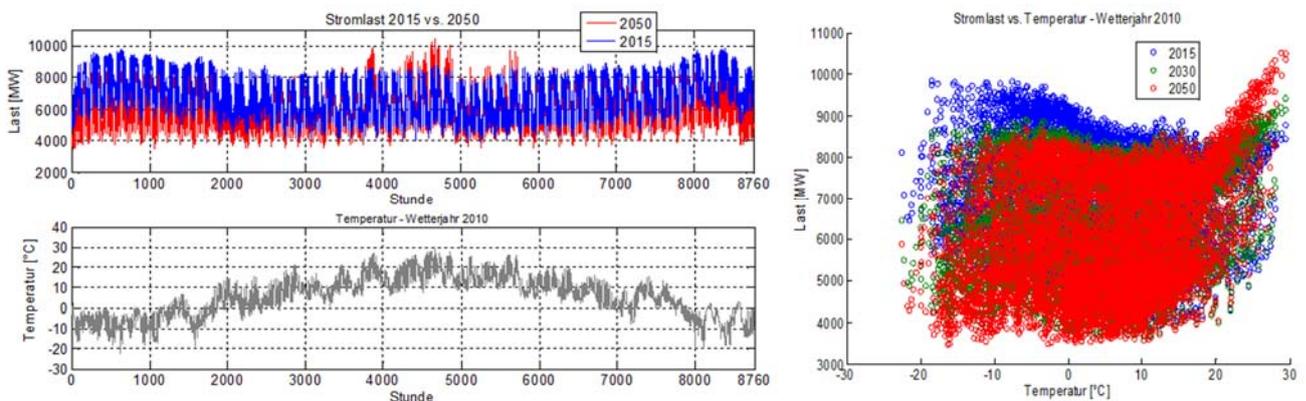


Abbildung 89. Entwicklung der elektrischen Last unter Berücksichtigung von Power to Heat und Strom für Klimatisierung im Wärmewende-Szenario bis zum Jahr 2050

Unabhängig von den Szenarioergebnissen stellt sich die Frage nach einem aus ökologisch und technischer Sicht optimalen bzw. verträglichen Anteil von Power to Heat zur Dekarbonisierung der Energieversorgung. Zu den Anwendungen in der Einzelobjektversorgung kommt noch der Einsatz von Wärmepumpen in Wärmenetzen. In der Studie P2H-Pot (siehe Totschnig et. al 2017) wird gezeigt, dass für bestimmte Netztypen mit entsprechenden Wärmequellen Anteile von Wärme aus Wärmepumpen an der gesamten Fernwärmebereitstellung im Bereich von 10 % bis 30 % liegen können. In den gerechneten Dekarbonisierungsszenarien entfällt etwa 9 % der jährlichen Stromnachfrage auf den Betrieb Wärmepumpen im Gebäudebestand und in Fernwärmenetzen. In Fernwärmenetzen besteht im Vergleich

zu dezentralen Wärmepumpen zumeist eine höhere Flexibilität da vor allem bei großen Netzen mehrere Technologien zur Wärmebereitstellung (z.B. KWK, Heizkessel und Wärmepumpe + zusätzliche Wärmespeicher) zur Verfügung stehen. Damit kann der Einsatz der Wärmepumpen (falls diese darauf ausgelegt werden) teilweise auf Zeiten mit geringen Strompreisen verlagert werden. Wärmepumpen in Wärmenetzen können damit auch ein beträchtliches Flexibilitätspotential für das Stromsystem darstellen, welche vor allem bei sehr hohen Anteilen variabler Erneuerbarer genutzt werden kann.

Eine vollständige Elektrifizierung der Wärmebereitstellung wäre jedoch weder aus technischer noch ökologischer Sicht sinnvoll. Dies zeigt alleine eine Gegenüberstellung der theoretischen Nachfrage nach Strom bei einer vollständigen Umstellung der Wärmebereitstellung im Gebäudesektor mit einem angenommenen Wärmebedarf von 80 TWh/a auf Wärmepumpen mit einer durchschnittlichen Arbeitszahl von 3. Wie in Abbildung 90 zu sehen ergeben sich daraus elektrische Spitzenlasten zur Wärmebereitstellung im Bereich von 9 GW was in etwa 90 % der derzeitigen Jahreshöchstlasten der gesamten elektrischen Last entspricht. Mit diesen Spitzenlasten wären erhebliche zusätzliche Investitionen in den Kraftwerkspark notwendig, was als nicht effizient eingestuft werden kann. Dennoch werden Wärmepumpen als ein wichtiger Bestandteil der zukünftigen Wärmeversorgung gesehen. Die tatsächliche Entwicklung und der zukünftige Anteil der Wärmepumpen sind aber mit großen Unsicherheiten verbunden (siehe dazu auch Hartl et al. 2016 S.74).

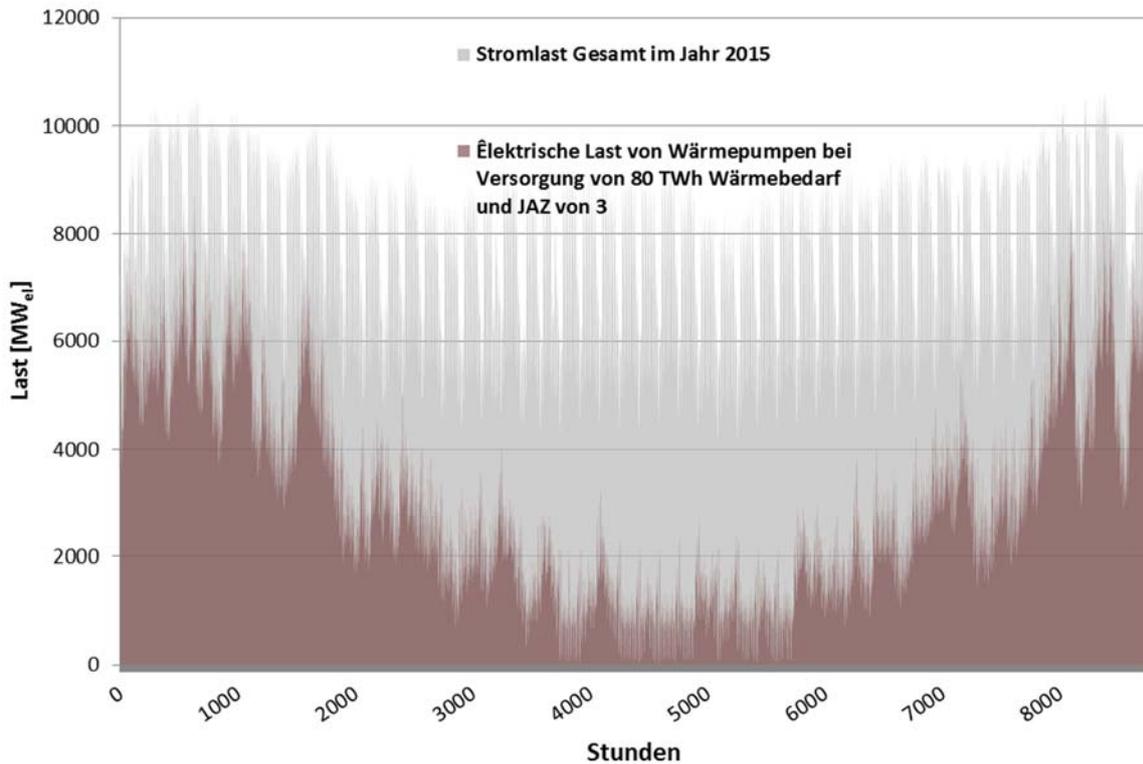


Abbildung 90. Theoretischer Lastverlauf bei einer Vollversorgung des österreichischen Wärmebedarfs der Gebäude mit Wärmepumpen (Annahme: Wärmebedarf von 80 TWh und JAZ von 3)

4.4 Die Rolle der Wärmepumpen in Dekarbonisierungsszenarien

Im folgenden Abschnitt wird die Rolle der Wärmepumpen in Dekarbonisierungsszenarien sowie das Potenzial zur Emissionsvermeidung durch den Einsatz von Wärmepumpen diskutiert. Eine Studie im Auftrag der Agora Energiewende zur Wärmewende in Deutschland schreibt etwa den Wärmepumpen eine bedeutende Rolle in Dekarbonisierungsszenarien zu. In den Szenarien wird von mehr als 10 Mio. installierten Wärmepumpen in Deutschland bis zum Jahr 2050 ausgegangen. Es werden sowohl Erd- als auch Luftwärmepumpen installiert. In den Modellrechnungen liegt der zukünftige Anteil des Strombedarfs für Wärmepumpen im Bereich von 10 % des Gesamtstrombedarfs (siehe Abbildung 91) wobei zusätzlich andere Verbraucherkategorien ebenfalls teilweise elektrifiziert werden (vor allem E-Mobilität aber auch Power to Heat für Prozesswärme in der Industrie). In dieser so wie auch in der Vielzahl anderer Studien wird davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2050 eine fast vollständige Dekarbonisierung des Stromsystems möglich ist. Dazu wird davon ausgegangen, dass beträchtliche Potentiale für den Ausbau der Stromerzeugung aus PV und Wind (On- und Offshore) vorhanden sind. Daraus ergibt sich folglich die elektrische Versorgung eines Teils des Wärmebedarfs über Wärmepumpen als kostengünstige und emissionsarme Lösung im Gesamtsystem solange ausreichend hohe Jahresarbeitszahlen erreicht werden. Hier wird noch

einmal darauf hingewiesen dass dies derzeit aufgrund der hohen Vorlauftemperaturen bei weitem nicht im gesamten Gebäudebestand möglich ist (siehe Abbildung 77.bis Abbildung 81). In den gerechneten Szenarien der Agora Energiewende verstärkt sich der Ausbau von Wärmepumpen mit zunehmender Dekarbonisierung des Stromsystems, während in den ersten Jahren bis 2030 aufgrund der zum Großteil auf Kohle und Gas basierender Stromversorgung weniger Wärmepumpen installiert werden da damit keine bzw. nur sehr geringe Emissionseinsparungen im Gesamtsystem erreicht werden.

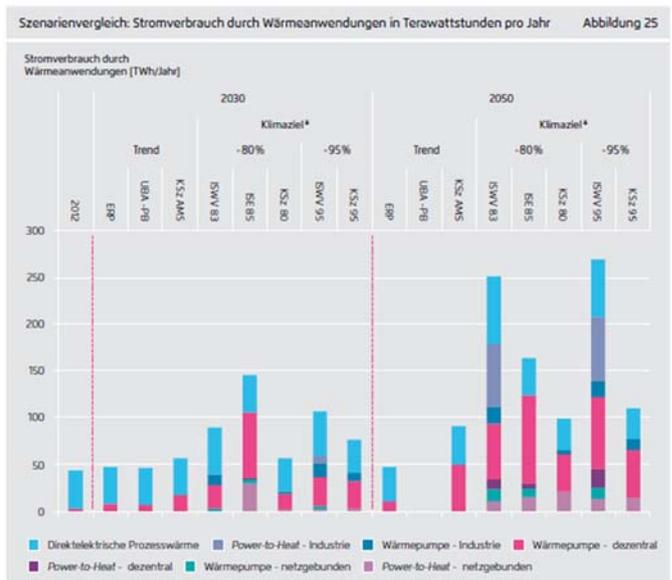
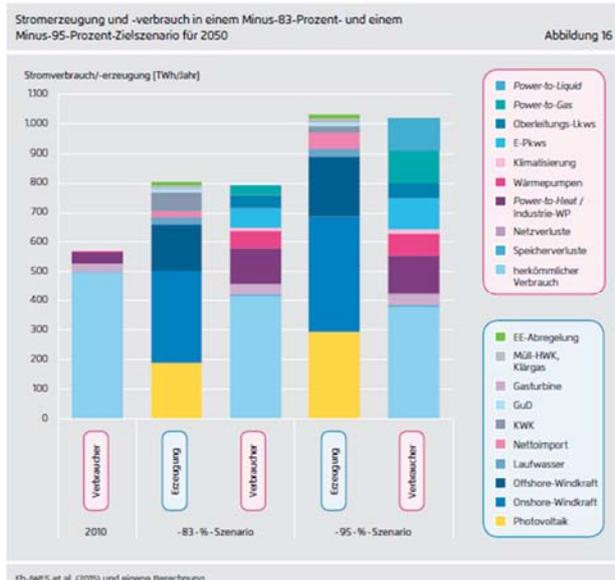


Abbildung 91. Agora Energiewende Szenarien – Links: Entwicklung des Stromerzeugungsmix sowie Zusammensetzung in Deutschland zur Erreichung von CO₂ Einsparungen von 85 % bzw. 95 % bis zum Jahr 2050. Rechts: Strombedarf zur Wärmebereitstellung nach Szenarien

Zur Diskussion ob Wärmepumpen überhaupt zu CO₂ Einsparungen im Vergleich zu konventionellen Heizungssystemen führt wird hier auf einen Bericht von Benke et. al (2015) zum Einsatz von Luftwärmepumpen in Österreich verwiesen.

Im Wesentlichen sind die Emissionseinsparungen von folgenden Parametern abhängig:

- Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen: Wie bereits in diesem Bericht ausführlich diskutiert können diese sehr stark schwanken und liegen typischer Weise im Bereich von 1,5 bis 3 für Luftwärmepumpen und >3 für Erdwärmepumpen.
- Annahmen zum Referenzheizsystem: Meist werden die Emissionen der Wärmepumpen einem fossilen Referenzheizsystem gegenübergestellt. Typischer Weise sind das Ölheizungen bzw. Gasheizungen. Dabei spielt zum einen der eingesetzte Energieträger als auch die Effizienz des fossilen Heizungssystems eine

Rolle. Bei angenommenen Emissionsfaktoren von $240 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{MWh}_{\text{primär}}$ für Erdgas bzw. $335 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{MWh}_{\text{primär}}$ für Heizöl ergeben sich bei einem angenommenen Jahresnutzungsgrad der Heizsysteme von 90 % CO_2 Emissionen von $267 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{MWh}_{\text{Wärme}}$ für eine Erdgasheizung bzw. $372 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{MWh}_{\text{Wärme}}$ für eine Ölheizung. Die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen müssen hoch genug sein um den meist höheren Emissionsfaktor der Stromerzeugung auszugleichen.

- Strommix zur Bereitstellung: Der Energieträgermix zur Stromerzeugung für Wärmepumpen bestimmt die indirekten Emissionen eines elektrischen Heizsystems. Oft wird für die Abschätzung der Emissionen von Wärmepumpen der durchschnittliche jährliche Erzeugungsmix angenommen. Für Österreich ergibt sich aufgrund der hohen Anteile der Wasserkraft daraus ein relativ geringer Wert von $131 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{MWh}$ im Jahr 2013. Dies ist allerdings aus mehreren Gründen eine nicht zulässige Vereinfachung (vgl. dazu auch Benke et. al 2015):

- die Wärmenachfrage weist eine starke Saisonalität auf. (siehe Abbildung 87) Da im Winter höhere Anteile der österreichischen Stromerzeugung aus Wärmekraftwerken (vorwiegend Gas) bereit gestellt wird, ist der Emissionsfaktor für Wärmepumpen höher anzusetzen als für die gesamte österreichische Stromnachfrage.
- Das österreichische Stromsystem ist stark mit den Nachbarstaaten vernetzt. Vor allem aus Deutschland werden derzeit beträchtliche Strommengen importiert. Der Emissionsfaktor für diese Importe ist weitaus höher als der Faktor für den österreichischen Erzeugungsmix.
- Dazu stellt sich die Frage, ob für eine Bewertung überhaupt der gesamte Strommix betrachtet werden soll, oder ob für den Fall der Wärmepumpen jene zusätzliche Stromerzeugung die durch den Einsatz der Wärmepumpen verursacht wird herangezogen werden sollte. Für diese Bewertungsmethode spricht, dass sie die tatsächliche Änderung der Emissionen durch zu- bzw. abschalten eines zusätzlichen Stromverbrauchers besser abbildet als eine Bewertung mit durchschnittlichen Emissionsfaktoren. In diesem Fall wären die Emissionen der Wärmepumpe aus dem jeweils im Betrieb befindlichen Grenzkraftwerk¹⁷ in einer entsprechenden zeitlichen Auflösung (zumindest stündlich) zu bestimmen. Grenzkraftwerke im Marktgebiet von Österreich und Deutschland entsprechen derzeit fast ausschließlich Gas- bzw. Steinkohlenkraftwerke. Die CO_2 -Emissionsfaktoren dieser Kraftwerke liegen zwischen 400 und $1000 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{MWh}$ woraus sich ein weit höherer

¹⁷ Als Grenzkraftwerk wird jenes Kraftwerk bezeichnet welches zur Deckung der letzten Nachfrageeinheit zugeschaltet wird. Es handelt sich dabei um das letzte Kraftwerk in der Merit-Order der Stromerzeugung eines Marktgebiets, dass aufgrund seiner Grenzkosten (v.a. Brennstoff- und CO_2 Kosten) gerade als letztes Kraftwerk zur Deckung der Nachfrage herangezogen wird.

Emissionsfaktor ergibt. In den von Benke et. al verwendeten Bewertungen wurde die Emissionsfaktoren aus einer Studie von Prognos Deutschland verwendet, welche CO₂-Emissionsfaktoren für Luftwärmepumpen von über 600 kg_{CO2}/MWh ergeben. Tabelle 8 zeigt einen Überblick zur Bandbreite verwendeter Emissionensfaktoren bei der Bewertung von Wärmepumpen aus der Studie von Benke et. al 2015.

Tabelle 8. Übersicht zu unterschiedlichen Emissionsfaktoren für Wärmepumpen. Quelle: Benke et. al 2015

	Referenzjahr 2013	Referenzjahr 2014
CO ₂ -Emissionsfaktor Jahresbilanz gesamter Stromverbrauch Österreich [g/kWh Strom Endenergie]	131	123
CO ₂ -Emissionsfaktor Luft-Wärmepumpe Stundenbilanzverfahren [g/kWh Strom Endenergie]	652	642
Primärenergiefaktor Luftwärmepumpe	2,43	2,41

Tabelle 3: CO₂ -Emissions- und Primärenergiefaktoren für Strom für den Einsatz Luftwärmepumpen (Quelle: e7 auf Basis Berechnung Prognos Deutschland).

Wie in der Studie gezeigt wird, liegen die Emissionen von Luftwärmepumpen bei angenommenen JAZ im Bereich von 3 deutlich unter den Emissionen der Ölheizungen (inkl. Brennwertkessel) auch wenn von den relativ hohen CO₂ Emissionskoeffizienten von 642 kg_{CO2}/MWh ausgegangen wird. Für Erdgasheizungen ist der Vergleich weniger eindeutig. Bei einer JAZ einer Wärmepumpe von 3 würden Erdgasheizungen mit Jahresnutzungsgraden >91,4 % weniger Emissionen verursachen. Hier soll noch einmal betont werden, dass der Strom mit 642 kg_{CO2}/MWh in die Bewertung eingeht. Im Vergleich zu anderen Bewertungsmethoden ist dieser Wert als hoch einzustufen, entspricht aber laut Meinung der Autoren dieser Studie am besten den derzeit tatsächlich verursachten Emissionen im Stromsystem. Abbildung 92 zeigt noch einmal grafisch den Vergleich zwischen Luftwärmepumpen (JAZ von 3) und fossilen Systemen in Abhängigkeit der Emissionsfaktoren für Strom und erlaubt eine Abschätzung der Grenzen ab derer Luftwärmepumpen als emissionsärmer im Vergleich zu fossilen Heizungssystemen einzustufen sind.¹⁸

¹⁸ Unabhängig von diesen Überlegungen ist auch zu berücksichtigen, dass bei der Nutzung von Gas als Energieträger für das Heizen auch andere negative Effekte zu berücksichtigen sind, die nicht ausschließlich aus der CO₂ Emission bei der Verbrennung resultieren (etwa flüchtige Emissionen bei Förderung und Transport).

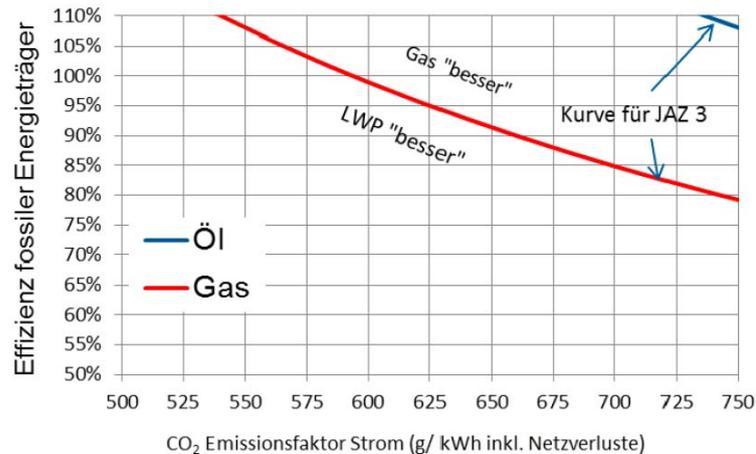


Abbildung 92. Vergleich der Emissionen zwischen fossilen Heizungssystemen und Luftwärmepumpen in Abhängigkeit von Emissionsfaktoren für Strom und Effizienz des fossilen Heizsystems. Quelle: Benke et.al 2015

Die tatsächlichen Emissionseinsparungen sind letztendlich im Einzelfall zu bewerten und hängen sehr stark von verfügbaren Wärmequellen bzw. Temperaturniveaus der Heizsysteme ab. Tendenziell zeigt sich aber, dass im Allgemeinen die Emissionen der Erdgasheizungen und effizient ausgelegten Luftwärmepumpen im derzeitigen Strommix sehr ähnlich sind. Da in so gut wie allen Studien zur Dekarbonisierung des Energiesystems von stark steigenden Anteilen erneuerbarer Energien sowie langfristig von einem Ausstieg aus der Stromproduktion durch Kohle (Ausnahme bei Carbon Capture and Storage) ausgegangen wird, kann auch für die Bewertung der zukünftigen Rolle der Wärmepumpen von sinkenden Emissionsfaktoren für Strom ausgegangen werden. Bei einer Versorgung der Wärmepumpen rein aus effizienten mit Erdgas befeuerten Gas- und Dampfkraftwerken würden die CO₂ Emissionskoeffizienten für die Stromversorgung der Wärmepumpen unter 500 kg/MWh liegen. Aus Abbildung 92 ist zu erkennen, dass Wärmepumpen mit JAZ von 3 unter diesen Voraussetzungen jedenfalls geringere Emissionen verursachen als Gasheizungen, auch wenn diese als effiziente Brennwertkessel ausgeführt werden. Damit tragen in Szenarien mit hohen Emissionsvermeidungszielen auch effizient ausgelegte Wärmepumpen zur Emissionsvermeidung bei. Dabei ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die JAZ von Luftwärmepumpen im realen Betrieb derzeit oft unter 2,5 liegen womit beim derzeitigen Strommix keine signifikanten Einsparungen im Vergleich zu Gasheizungen erzielt werden. Dies unterstreicht die Notwendigkeit von Effizienzkriterien für den Einsatz von Wärmepumpen und zeigt, dass Wärmepumpen nicht im gesamten Gebäudebestand als sinnvolle Technologie zur Reduktion der Emissionen im Gesamtsystem eingestuft werden können.

4.5 Die Rolle der Flexibilität von Wärmepumpen

Im Hinblick auf eine möglichst effiziente und systemverträgliche Einbindung der Wärmepumpen in das Stromsystem spielt deren Betriebsweise eine entscheidende Rolle. Bei entsprechender Informationsanbindung und Regelbarkeit können auch dezentrale Wärmepumpen bis zu einem gewissen Grad flexibel betrieben werden. Für ein zukünftiges emissionsarmes Energiesystem ist das vor allem aus zwei Gründen von großer Bedeutung:

- 1) Durch eine systemdienliche Steuerung können Lastspitzen vermieden werden und somit der Bedarf an gesicherter Kraftwerksleistung reduziert werden.
- 2) Bei zukünftig hohen Anteilen von Photovoltaik und Wind im Stromsystem die in allen ambitionierten Dekarbonisierungsszenarien unterstellt werden kann eine Verlagerung der Wärmegehung aus Power to Heat sowohl systemdienlich sein als auch zu Kosteneinsparungen führen.

Voraussetzung für eine signifikante Verlagerung der Wärmegehung innerhalb eines Tages für Raumwärme im Gebäudebereich ist ein Wärmespeicher bzw. aktivierbare thermische Massen (z.B. Betonkernaktivierung). Die thermische Trägheit von Gebäudemassen liefert zwar auch ohne Bauteilaktivierung ein bestimmtes Verschiebepotential, die Verschiebedauer ist hier allerdings mit einer relativ geringen Zeitdauer begrenzt.

Bei der Bereitstellung von Warmwasser wird von einem System mit Warmwasserspeicher ausgegangen womit je nach Speichergröße und Warmwasserbedarf ein großes Lastverlagerungspotential mit Verschiebedauern bis zu 6h besteht. Auch die bestehenden elektrischen Anlagen und insbesondere Nachtspeicherheizungen sind für eine Lastverlagerung geeignet bzw. werden dazu bereits herangezogen. Viele Haushalte besitzen bereits einen zweiten Stromzähler und werden per Rundsteuergerät geschaltet. In dem gerechneten Wärmewende-Szenario wird allerdings von einem langfristigen Phase-out der direkt elektrischen Systeme zugunsten der effizienteren Wärmepumpen ausgegangen womit sich deren zukünftiges Lastverschiebungspotential stark reduziert.

Abgesehen von Lastverschiebungen zur Lastverlagerung im Stundenbereich eignen sich Wärmepumpen auch für den Einsatz am Regelenergiemarkt (sowohl Sekundär-, als auch Tertiärregelung). Dafür wären auch Systeme ohne Wärmespeicher geeignet da hier Verschiebedauern im Bereich <1h bereits für die Bereitstellung von Regelleistung ausreichen. Voraussetzung dafür ist allerdings die Aggregation mehrerer Wärmepumpen zur Erreichung von Mindestleistungen zur Angebotslegung am Regelenergiemarkt. (Mindestgröße für ein Angebot derzeit bei 1 MW Blöcke)

Welche Bedeutung der Flexibilität zukommt wurde ebenfalls in der Studie der Agora Energiewende (Gerhardt et. al (2017)) untersucht. In den Standardszenarien wird davon ausgegangen, dass Wärmepumpen inklusive Wärmespeicher installiert, die eine Lastverschiebung im Bereich von 6h Stunden erlauben und diese Flexibilität auch genutzt wird. In Szenarien wo Wärmepumpen nicht flexibel betrieben werden können werden um 25% weniger Wärmepumpen bis zum Jahr 2050 ausgebaut. Die Untersuchungen zeigen, dass die Flexibilität der Wärmepumpen bei hohen Anteilen von PV und Wind einen erheblichen Zusatznutzen darstellen kann. Auch Benke et. al 2015 empfehlen den Einsatz von Speichern bei Luftwärmepumpen.

Derzeit sind aufgrund der relativ geringen Price Spreads am Strommarkt die Anreize zur Bereitstellung von Flexibilität noch gering. Bei weiter steigenden Anteilen von PV und Wind wird allerdings von höheren Preisschwankungen vor allem auch innerhalb eines Tages ausgegangen (siehe Hartner und Permoser 2017). Durch die Weitergabe der Preisunterschiede an die Konsumenten wären die notwendigen Anreize für Lastverschiebungen gegeben. Auch wenn derzeit kein kritischer Bedarf für die Steuerung von Wärmepumpen besteht sollten diese aufgrund der langen Lebenszeiten bereits jetzt mit Hinsicht auf zukünftige Anforderungen geplant werden.

Abschätzungen der Lastverschiebepotentiale von Wärmepumpen

Für aktuelle Abschätzungen von Lastverschiebepotentialen in Haushalten wird auf die Studie Loadshift (Moser et.al 2015) verwiesen. Die zukünftig verfügbaren Lastverschiebungspotentiale durch Power to Heat im gerechneten Wärmewende-Szenario werden anhand der folgenden Kennzahlen und Auswertungen dargestellt.

Tabelle 9 zeigt die ermittelten Lastspitzen durch Power to Heat, die theoretische Jahresdurchschnittslast sowie den Durchschnitt der täglichen Leistungsunterschiede zwischen Tageshöchstlast und Tagesminimallast. Für diese Abschätzung wird vorerst nicht zwischen Warmwasser und Raumwärme unterschieden. Die Lastspitzen können als Indikator für die theoretisch schaltbare Last herangezogen werden. Diese sinkt aufgrund des schon beschriebenen Phase-outs von elektrischen Direktheizungen von 3,5 GW in 2015 auf 1,6 GW bis 2050. Die Jahresdurchschnittslast aus Power to Heat beträgt 1,2 GW in 2015 und sinkt auf 500 MW im Jahr 2050. Der Durchschnitt des täglichen Maximums und Minimums der berechneten Lastprofile liefert ebenfalls einen Indikator für mögliche Lastverschiebungen. Für das Jahr 2015 beträgt die durchschnittliche tägliche Differenz der Lastspitzen bzw. – minima ca. 700 MW. Die in Abbildung 85 gezeigten Lastverläufe einer Winterwoche im Jahr 2015 zeigen bedeutend höhere Unterschiede zwischen Maxima (3,3 GW) und Minima (2 GW) im Bereich von 1,3 GW. Nachtspeicherheizungen haben hier einen großen Einfluss auf die errechneten Laständerungen. Für die simulierten Jahre 2030 und 2050 sinken die durchschnittlichen Differenzen zwischen Tagesmaxima und –minima auf 300 MW und 200 MW.

Die ermittelten Jahreskennwerte deuten auf signifikante verschiebbare Lasten von mehreren 100 MW hin die auch in anderen Studien bestätigt werden (z.B. Moser et.al, 2015; Ghaemi, 2013).

Tabelle 9. Kennwerte der elektrischen Last für Raumwärme und Warmwasser im Wärmewende-Szenario

	Lastspitze [GW]	Jahres- durchschnittslast [GW]	Durchschnittliche Differenz der täglichen Maxima/Minima [GW]
2015	3,5	1,2	0,7
2030	2	0,7	0,3
2050	1,6	0,5	0,2

Die Abschätzung der möglichen Verschiebedauern ist mit großen Unsicherheiten verbunden und schwankt je nach Jahreszeiten und Tageslastverläufen. Dazu ist für mögliche Verschiebedauern entscheidend ob die Wärmepumpen auch im Raumwärmebereich mit entsprechenden Wärmespeichern (oder Bauteilaktivierung) installiert werden. Ist das nicht der Fall ergeben sich mögliche Verschiebedauern bei der Bereitstellung von Raumwärme im Bereich <1h. Damit wäre die Flexibilität der Raumwärmebereitstellung auf den Einsatz am Regelenergiemarkt und bis zu einem gewissen Grad zur Reduktion der Jahresspitzenleistungen geeignet. Die Verschiebung größerer Energiemengen innerhalb eines Tages wäre damit auf die Warmwasserbereitstellung beschränkt für die implizit ein Warmwasserspeicher angenommen wird. In den folgenden Ausführungen wird davon ausgegangen, dass die Wärmepumpen im Wärmewende-Szenario mit Wärmespeichern ausgestattet sind. Raumwärme und Warmwasser werden für diese groben Abschätzungen nicht getrennt betrachtet. Dazu kommt, dass die Nutzung des Potentials natürlich auch eine entsprechende Anbindung und Steuermöglichkeit der Systeme voraussetzt. Falls es zu keiner Marktdurchdringung von steuerbaren Wärmepumpen und entsprechenden Endkundertarifen kommt reduziert sich das Potential dementsprechend. Bei den folgenden Darstellungen handelt es sich also um theoretisch mögliche Lastverschiebungspotentiale.

Dazu muss berücksichtigt werden, dass die Lastverschiebungspotentiale aufgrund des Lastverlaufs saisonalen Schwankungen unterliegen und damit kein jährlicher Wert für potentielle Lastreduktion, Lasterhöhung und Verschiebedauern bestimmt werden kann. Abbildung 93 zeigt dies beispielhaft für den berechneten Lastverlauf der elektrischen Wärmebereitstellung im Wärmewende-Szenario für das Jahr 2030. Die durchschnittlichen Tageslasten liegen in den Monaten Dezember bis Februar über 1 GW und sinken im Sommer auf etwa 200 MW (ausschließlich Warmwasser). Die durchschnittlichen Differenzen zwischen Tagesspitzen und Tagesminima liegen zwischen 430 MW im Winter und 200 MW im Sommer.

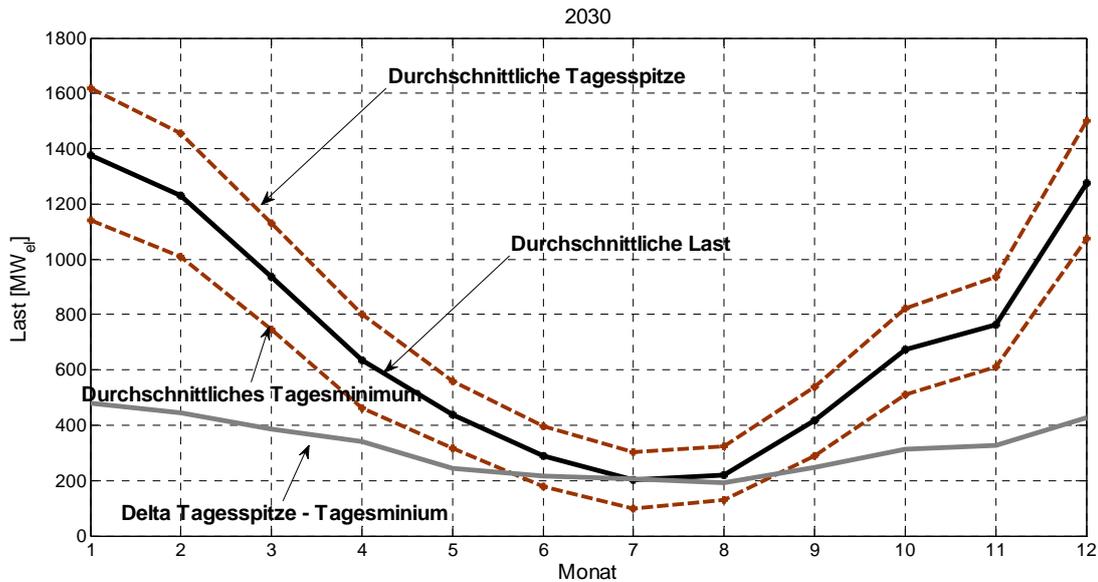


Abbildung 93. Durchschnittliche Tageslast pro Monat durch Power to Heat im Gebäudebestand, durchschnittliche tägliche Maximal- und Minimallast sowie Differenz der Tagesmaxima und –minima im Wärmewende-Szenario für das Jahr 2030.

Aus dem Vergleich zwischen Spitzenlasten und Durchschnittslasten können durchschnittliche tägliche Einsatzdauern (als Volllaststunden) abgeschätzt werden.

$$\text{tägliche Volllaststunden [h]} = \frac{\text{Durchschnittslast [GW]} * 24 [h]}{\text{Lastspitze [GW]}}$$

Im Jahresmittel ergeben sich damit tägliche Volllaststunden im Bereich von 8 Stunden. Die täglichen Volllaststunden können als Indikator zur Verfügbarkeit von Flexibilität herangezogen werden. Je geringer die täglichen Volllaststunden umso flexibler ist die Bereitstellung der Wärme innerhalb eines Tages bei entsprechenden Speichermöglichkeiten. Bei geringen Volllaststunden besteht theoretisch die Möglichkeit der Verlagerung der Erzeugung über mehrere Stunden innerhalb eines Tages. Umgekehrt besteht allerdings ein geringes kurzfristiges Lastreduktionspotential, da die Heizungen weniger oft laufen bzw. auf Teillast laufen. Umgekehrt besteht bei hohen täglichen Volllaststunden ein hohes Potential für kurzfristige Lastreduktionen (<1h), da davon ausgegangen werden kann, dass an kalten Tagen ein Großteil der Heizungen mit hoher Leistung laufen. Andererseits ist das Verschiebepotential über längere Zeiträume (mehrere Stunden) tendenziell geringer, da die Heizungen über einen Großteil des Tages mit hoher Last laufen müssen um die benötigte Wärme an kalten Tagen bereit zu stellen.

Tabelle 10 zeigt einen Überblick über die täglichen Durchschnittsleistungen je Monat von Power to Heat im Wärmewende-Szenario für die Jahre 2015, 2030 und 2050. Dazu wurden theoretische tägliche Volllaststunden als Kennwert ermittelt. Dabei wurde angenommen, dass die zur Verfügung stehende Leistung für alle Monate mit

dem jeweiligen Jahresspitzenwert aus Tabelle 9 angesetzt werden kann. Für den Fall der getrennten elektrischen Raumwärmebereitstellung wäre dies allerdings nicht zulässig da diese Leistung an Tagen an denen nur Warmwasser aber keine Raumwärme benötigt wird nicht zur Verfügung steht. Hinter den Abschätzungen der Volllaststunden in Tabelle 10 steckt also implizit die Annahme, dass die installierten Wärmepumpen mit voller Leistung zur Bereitstellung von Warmwasser über Warmwasserspeicher zur Verfügung stehen.

Unter diesen Annahmen stellen sich die täglichen Volllaststunden je nach Monat sehr unterschiedlich dar. Volllaststunden von 24 würde bedeuten dass die Anlagen den ganzen Tag mit Volllast betrieben werden.¹⁹ Die in Tabelle 10 gezeigten Werte reichen von mehr als 16 h in den Wintermonaten bis zu 2 h in den Sommermonaten in denen nur Warmwasser benötigt wird. Dies bedeutet, dass es im Winter vor allem ein hohes Potential für kurzfristige Lastreduktionen besteht. Es bestehen aber auch Potentiale für kurzfristige Lasterhöhung zu bestimmten Stunden am Tag. Die durchschnittlich zur Verfügung stehende Leistung liegt in den Wintermonaten im Jahr 2030 bei mehr als 1 GW und im Jahr 2050 immerhin noch im Bereich von 1 GW. Auch wenn diese Lasten nur im Bereich von 1-2h verschoben werden können kann durch eine gezielte Steuerung ein signifikanter Beitrag zur Reduktion der Spitzenlasten im Stromsystem geleistet werden. In den Sommermonaten ergeben sich tägliche Volllaststunden der elektrischen Wärmegestehung von 2h bis 5h. Dies bedeutet, dass (unter der Voraussetzung, dass die Warmwasserspeicher ein entsprechendes Fassungsvermögen besitzen) eine sehr hohe zeitliche Flexibilität in der Wärmebereitstellung besteht. Die benötigte Wärme könnte in nur wenigen Stunden am Tag bereitgestellt werden. Mit Hinblick auf sehr hohe Anteile von Wind und PV im zukünftigen System können damit relevante Energiemengen in Zeiten von hohen Einspeisungen aus Erneuerbaren verschoben werden. Beispiel: Im Jahr 2030 wird von einer täglichen Durchschnittsleistung von Power to Heat im Monat Juni von 288 MW ausgegangen. Das entspricht einer Energiemenge von $288 \text{ [MW]} \times 24 \text{ [h]} = 6912 \text{ [MWh]}$. Bei einer angenommenen Spitzenleistung von 2 GW könnte diese Energiemenge in 2,5 h erzeugt werden. Je nach Speichergrößen ergeben sich damit beträchtliche Verschiebepotentiale innerhalb eines Tages welche die Integration erneuerbarer Energie unterstützen können. Dazu besteht auch ein hohes Potential für kurzfristige Lasterhöhungen zur Bereitstellung von Regelenergie bzw. zur Bereitstellung von Netzdienstleistungen. Abbildung 94 illustriert noch einmal die zur Verfügung stehenden Lasten als Lastfaktoren je Monat für den Lastverlauf im Jahr 2050. Die roten Balken zeigen die durchschnittliche Auslastung der elektrischen

¹⁹ Die täglichen Volllaststunden können auch in Lastfaktoren umgewandelt werden in dem die entsprechenden Volllaststunden durch 24 dividiert werden. Hier wurden allerdings Volllaststunden als Indikatoren gewählt, da diese auch Gleichzeitig eine Abschätzung der möglichen Verschiebedauern geben wenn angenommen wird, dass Wärmespeicher keine Lastverlagerungen über mehrere Tage zulassen.

Wärmeerzeuger und sind damit ein Indikator für das verfügbare Potential von kurzfristigen Lastreduktionen. Die grauen Balken sind Indikatoren für verfügbare Potentiale zur kurzfristigen Lasterhöhung. Zu beachten ist, dass diese natürlich auch im Tagesverlauf unterschiedlich sein können. Die niedrigen Lastfaktoren im Sommer deuten wie oben beschrieben auf hohe zeitliche Flexibilität innerhalb eines Tages hin wenn Warmwasserspeicher vorhanden sind.

Voraussetzung für die Nutzung der Lastverschiebungspotentiale ist die Ausstattung von Wärmepumpen mit entsprechenden Steuerungseinheiten und Kommunikationsschnittstellen damit entsprechende Signale verarbeitet werden können. Dazu müssen Stromtarife für Endkunden geschaffen werden die monetäre Anreize für Lastverschiebungen beinhalten. Natürlich ist in allen Anwendungsfällen und vor allem bei einer hohen Durchdringung von steuerbaren Wärmepumpen auf die Netzstabilität in den Verteilnetzen zu achten und zu hohe Gleichzeitigkeitsfaktoren bei der Steuerung der Wärmepumpen sind zu vermeiden.

Tabelle 10. Monatliche Durchschnittsleistung und durchschnittliche Volllaststunden der elektrischen Wärmebereitstellung im Wärmewende-Szenario

Monat	Tägliche Durchschnittsleistung [MW]			Tägliche Volllaststunden [h]		
	2015	2030	2050	2015	2030	2050
1	2299	1376	1059	15,8	16,5	15,9
2	2063	1229	941	14,1	14,7	14,1
3	1593	938	711	10,9	11,3	10,7
4	1101	635	471	7,5	7,6	7,1
5	774	439	319	5,3	5,3	4,8
6	530	288	200	3,6	3,5	3,0
7	389	203	135	2,7	2,4	2,0
8	421	221	148	2,9	2,7	2,2
9	739	417	303	5,1	5,0	4,5
10	1159	673	505	7,9	8,1	7,6
11	1316	764	571	9,0	9,2	8,6
12	2134	1274	979	14,6	15,3	14,7

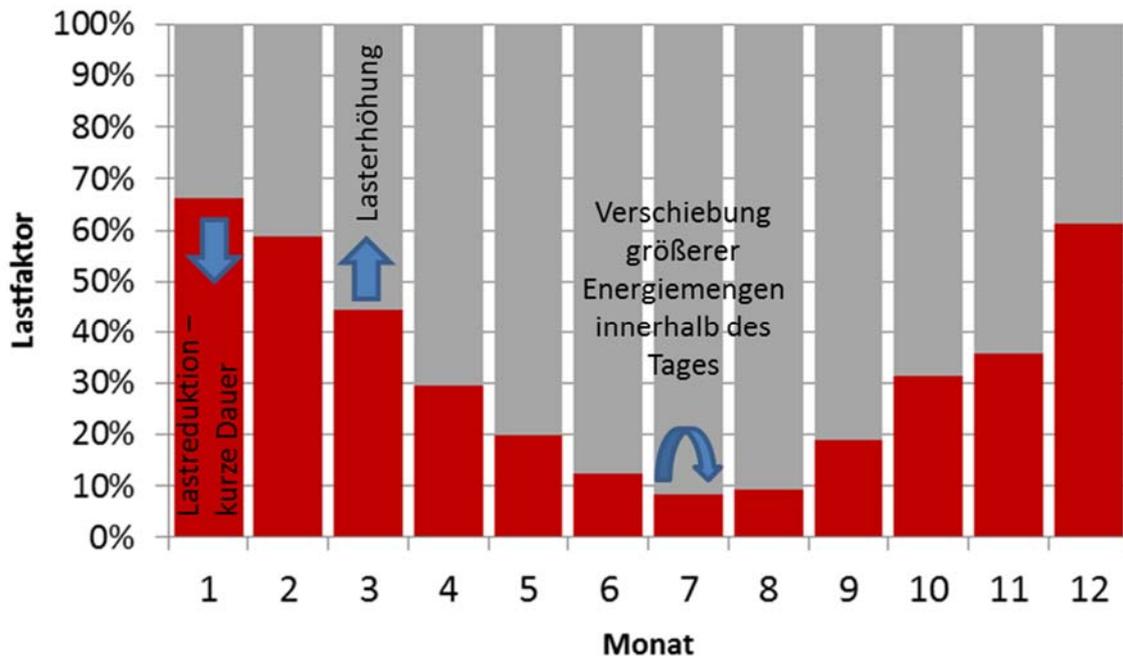


Abbildung 94. Durchschnittliche monatliche Lastfaktoren der elektrischen Wärmebereitstellung – schematische Darstellung

4.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen zur Sektorkopplung

Wärmepumpen werden als Teil der Wärmewende und können bei entsprechender Auslegung und hohen Jahresarbeitszahl zur Dekarbonisierung des Energiesystems beitragen. Voraussetzung dafür ist allerdings auch eine gleichzeitige Dekarbonisierung der Stromversorgung. Bei entsprechendem Ersatz von bestehenden elektrischen Direktheizungssystemen führt selbst ein starker Ausbau von Wärmepumpen nicht zu signifikanten zusätzlichen Belastungen des Stromsystems im Vergleich zum Status quo wo bereits ein hoher Anteil des Strombedarfs auf elektrische Heizungs- und Warmwassersysteme entfällt. Die Auswirkungen auf die Stromversorgung können durch steuerbare Wärmepumpen in Kombination mit Speichern bzw. Bauteilaktivierungen signifikant reduziert werden. Finanzielle Anreize für Lastverlagerungen bzw. Lastreduktionen zu Spitzenlastzeiten sind derzeit in begrenzter Form verfügbar (Nachtstromtarife, Wärmepumpentarife, Tarife für unterbrechbare Lasten). Die Infrastruktur für eine gezielte Steuerung von Wärmepumpen ist damit vielfach bereits weitgehend gegeben, das Potential wird allerdings derzeit nur in begrenztem Umfang genutzt.

Aus Sicht der regulatorischen Rahmenbedingungen ergeben sich daraus folgende Empfehlungen:

- Die Verwendung von Wärmepumpen sollte an Effizienzkriterien geknüpft sein um den Einsatz von Wärmepumpen mit niedrigen Jahresarbeitszahlen und

niedrigen Leistungszahlen bei sehr niedrigen Temperaturen zu begrenzen. Da eine Überprüfung der tatsächlich erreichten Arbeitszahlen mit hohem Aufwand verbunden ist wird als Alternative eine Begrenzung der Zulassung von Luftwärmepumpen auf Neubauten bzw. Bestandsgebäude deren Vorlauftemperaturen ein bestimmtes Niveau nicht überschreiten vorgeschlagen. Als Grenzwerte für als effizient mit Luftwärmepumpen versorgbare Gebäude wird eine maximale Vorlauftemperatur im Bereich von 40°C und für Solewärmepumpen 45°C vorgeschlagen womit Jahresarbeitszahlen von >3 erreichbar sein sollten (siehe Abbildung 75).

- Ob direkte finanzielle Förderungen für Wärmepumpen sinnvoll sind hängt von der gesamten Dekarbonisierungsstrategie im Bereich der Wärmeversorgung in Österreich ab. Bei entsprechenden regulatorischen bzw. steuerlichen Anreizen (z.B. entsprechend hohe CO₂ steuern, Bauordnung hinsichtlich Emissionsgrenzen etc.) können Subventionen überflüssig sein.
- Bei weiteren steigenden Anteilen von Luft-Wärmepumpen sollten diese in Kombination mit Wärmespeichern installiert werden bzw. sollten die Wärmepumpen kurzfristig vom Netz genommen werden um Leistungsspitzen im Stromnetz zu reduzieren. Vor allem bei zukünftig hohen Anteilen von fluktuierenden Erneuerbaren kann das zu einer signifikanten Senkung der notwendigen Backup Kapazitäten im Stromsystem beitragen. Falls finanzielle Anreize für Wärmepumpen als Instrument zum Einsatz kommen sollte jedenfalls in den Förderrichtlinien auf deren Ausgestaltung als flexible einsetzbare Wärmepumpe geachtet werden damit zukünftig Lastverschiebungspotentiale genutzt werden können.

5 Wirtschaftlichkeitsanalyse von Heiz- und Warmwassersystemen

Neben den energiesystemischen und ökonomischen Implikationen eines Wärmewende-Szenarios, wie in diesem Projekt analysiert, stellt sich auch die Frage nach den Kosten eines Umstiegs auf erneuerbare Heiz- und Warmwassersysteme, die KonsumentInnen bzw. Gebäude- und WohnungseigentümerInnen zu tragen haben. In diesem Kapitel gehen wir daher der Frage nach, wie sich die Lebenszykluskosten für verschiedene Heiz- und Warmwassersysteme für repräsentative Gebäudetypen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen darstellen.

Dabei ist der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Entscheidung für ein Heizsystem im Allgemeinen für einen Zeitraum von zumindest 15-20 Jahre, meist allerdings noch länger getroffen wird. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse sollte daher auch auf die Rahmenbedingungen in einem längeren Zeitraum und mögliche Unsicherheiten hinsichtlich dieser Rahmenbedingungen Rücksicht nehmen.

Es wurde daher ein Vollkostenvergleich der Wärmebereitstellung für die Periode 2018-2030 durchgeführt und auch entsprechende Energiepreis-Entwicklungen für diesen Zeitraum angenommen (s. Kapitel 5.2).

Methodisch und hinsichtlich der Zielsetzung ist das von anderen Heizkostenvergleichen (z.B. AEA, EI-Vorarlberg) insofern abzugrenzen, als innerhalb dieser Studie keine neuen Primärdaten bzgl. aktueller Kosten von Heizsystemen sowie z.B. Kosten für Wartungs- und Serviceverträge erheben wurden. Diese Daten wurden aus verschiedenen Literaturquellen (s. Kapitel 5.2) und bestehenden Datensammlungen übernommen. Vielmehr liegt der Fokus auf der zukünftigen Periode und der Unsicherheit, die sich z.B. hinsichtlich zukünftiger Energiepreisentwicklungen auf die resultierenden Wärmegestehungskosten ergibt.

Die Analyse erfolgt für verschiedene, repräsentative Wohngebäudetypen, nicht allerdings für Nicht-Wohngebäude.

Im Folgenden wird zuerst die Auswahl und Definition der Referenzgebäude beschrieben, da diese auf das Ergebnis einen nicht unwesentlichen Einfluss haben (Kapitel 5.1). Im Anschluss erfolgt die Darstellung der ökonomischen Rahmenbedingungen (insbesondere Energiepreise) und anderer Eingangsdaten (z.B. Investitionskosten). Kapitel 5.2 stellt wesentliche Einflussgrößen dar, bevor die Ergebnisse in Kapitel 5.3 präsentiert werden.

5.1 Auswahl und Beschreibung der Referenzgebäude

Die Wirtschaftlichkeit von Heizsystemen ändert sich nicht unwesentlich mit der Größe und dem spezifischen Wärmebedarf eines Gebäudes. Daher ist die Auswahl der Referenzgebäude entscheidend. Um sicherzustellen, dass die ausgewählten Gebäude repräsentativ für den österreichischen Gebäudebestand sind, wurde der Heizwärmebedarf für verschiedene Gebäudegrößen (Einfamilienhäuser, kleine und größere Mehrfamilienhäuser sowie Nichtwohngebäude) sortiert über den in Österreich bestehenden beheizten Gebäudeflächen aufgetragen. Dies erfolgte auf Basis des Gebäudebestandsmodells Invert/EE-Lab (www.invert.at, Müller, 2015).

Ausgehend von dieser Darstellung erfolgte die Auswahl von jeweils drei Referenzgebäuden in Einfamilienhäusern sowie Mehrfamilienhäusern:

- (1) **Bestand, unsaniert:** Unsanierte Referenzgebäude im Bestand sollten jene Gebäude abdecken, die aufgrund ihres Alters und Sanierungszustands einen höheren Heizwärmebedarf (HWB) haben. Hier wurde ein Referenzgebäude gewählt, für das gilt, dass innerhalb dieser Grundgesamtheit ein Drittel der Gebäude einen höheren HWB aufweist, und zwei Drittel einen geringeren HWB. Als Grundgesamtheit wurden dabei die Gebäude mit Bauperiode vor 1991 definiert, die seit 2000 lt. Daten im Modell Invert/EE-Lab keine Sanierung durchgeführt haben. Diese Referenzgebäude sind in der folgenden Abbildung mit „B“ gekennzeichnet.
- (2) **Bestand, saniert:** Sanierte Referenzgebäude wurden aus den oben definierten unsanierten Referenzgebäuden abgeleitet, allerdings unter der Annahme, dass nach Sanierung der Heizwärmebedarf um 50 % gesenkt werden konnte. Diese Referenzgebäude sind in der folgenden Abbildung mit „S“ gekennzeichnet.
- (3) **Neubau:** Schließlich wird auch ein Neubau-Gebäude definiert, das den Anforderungen gemäß Bauordnung (OIB-Richtlinie 6) entspricht. Diese Referenzgebäude sind in der folgenden Abbildung mit „N“ gekennzeichnet.

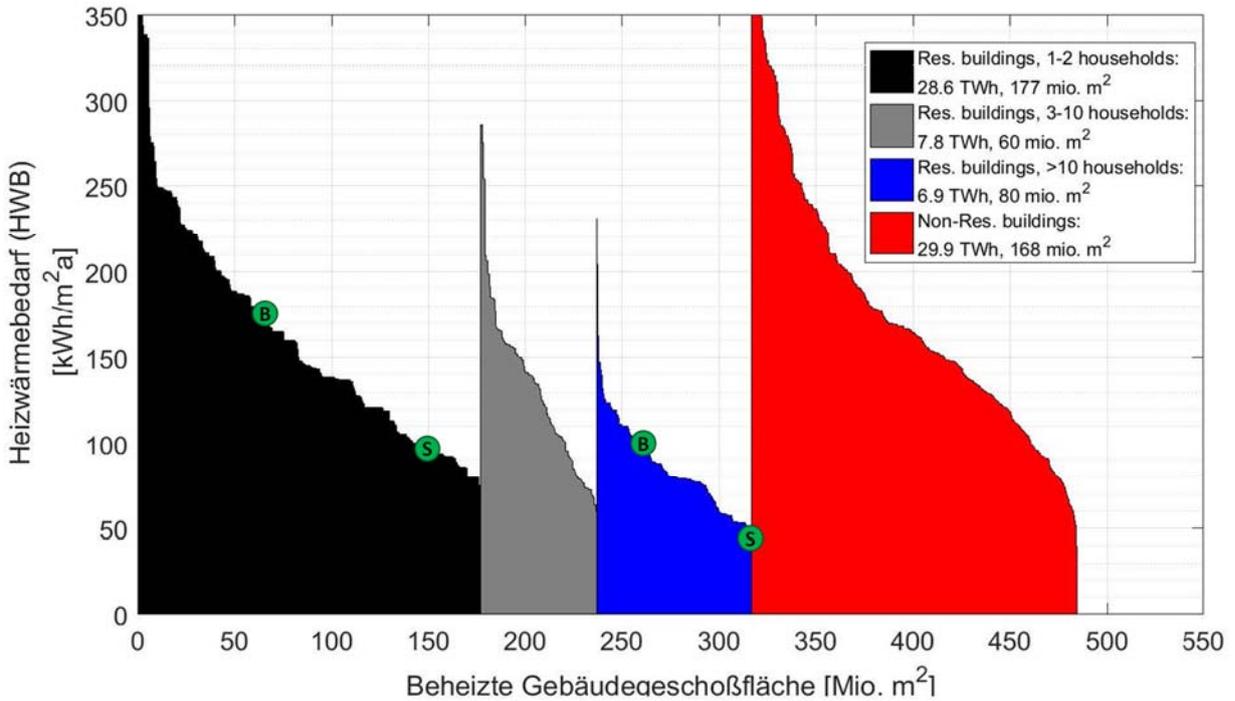


Abbildung 95. Bestand alter unsanierter Gebäude in Österreich, dargestellt als gereihter HWB über der beheizten Gebäudefläche in den Kategorien Einfamilienhäusern, kleine und größere Mehrfamilienhäuser sowie Nichtwohngebäuden. „B“ bezeichnet die Referenzgebäude im unsanierten Bestand, „S“ jene für sanierte Gebäude.

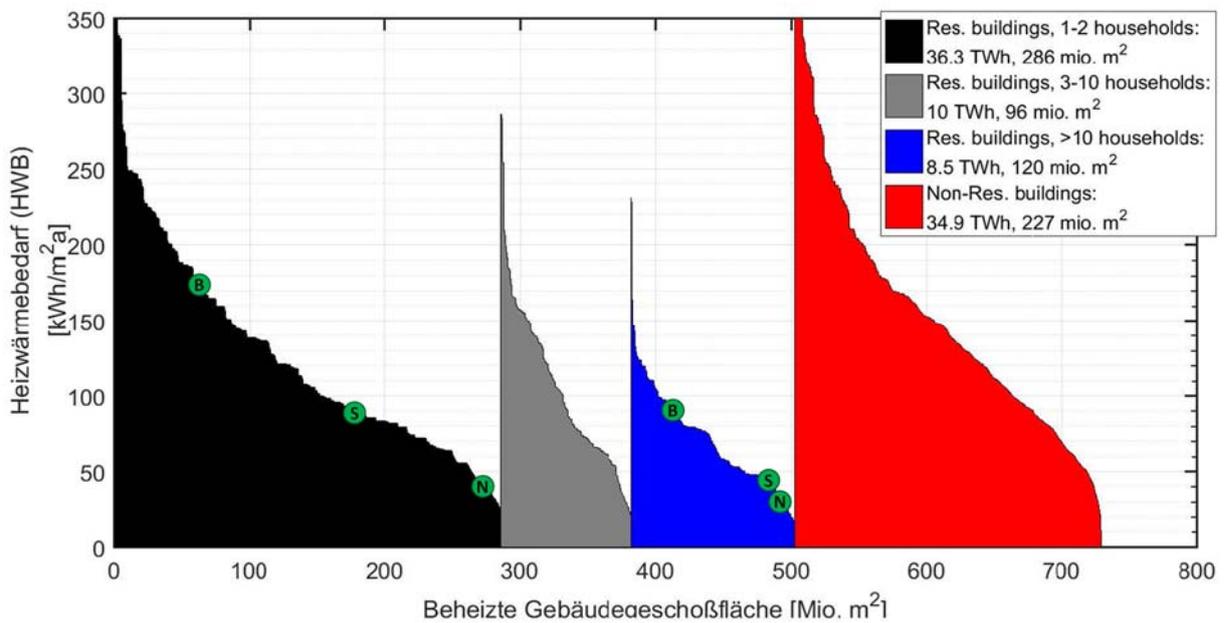


Abbildung 96. Gebäudebestand in Österreich, dargestellt als gereihter HWB über der beheizten Gebäudefläche in den Kategorien Einfamilienhäusern, kleine und größere Mehrfamilienhäuser sowie Nichtwohngebäuden. „B“ bezeichnet die Referenzgebäude im unsanierten Bestand, „S“ jene für sanierte Gebäude, „N“ jene im Neubau.

Die bisher dargestellten Werte zeigen den nach Norm errechneten Heizwärmebedarf. In der Praxis stellt sich allerdings heraus, dass v.a. aufgrund des Nutzerverhaltens der effektive Heizwärmebedarf in jenen Gebäuden mit hohem spezifischen HWB geringer als der theoretisch errechnete Bedarf ist. Diesem Faktum wird im Rahmen dieser Studie Rechnung getragen, indem ein Nutzerfaktor berücksichtigt wird, der je nach thermischer Qualität der Gebäude unterschiedlich ist (s. auch Müller, 2015). Dieser effektive Heizwärmebedarf, der sich nach Berücksichtigung des Nutzerfaktors ergibt ist in Abbildung 97 dargestellt.

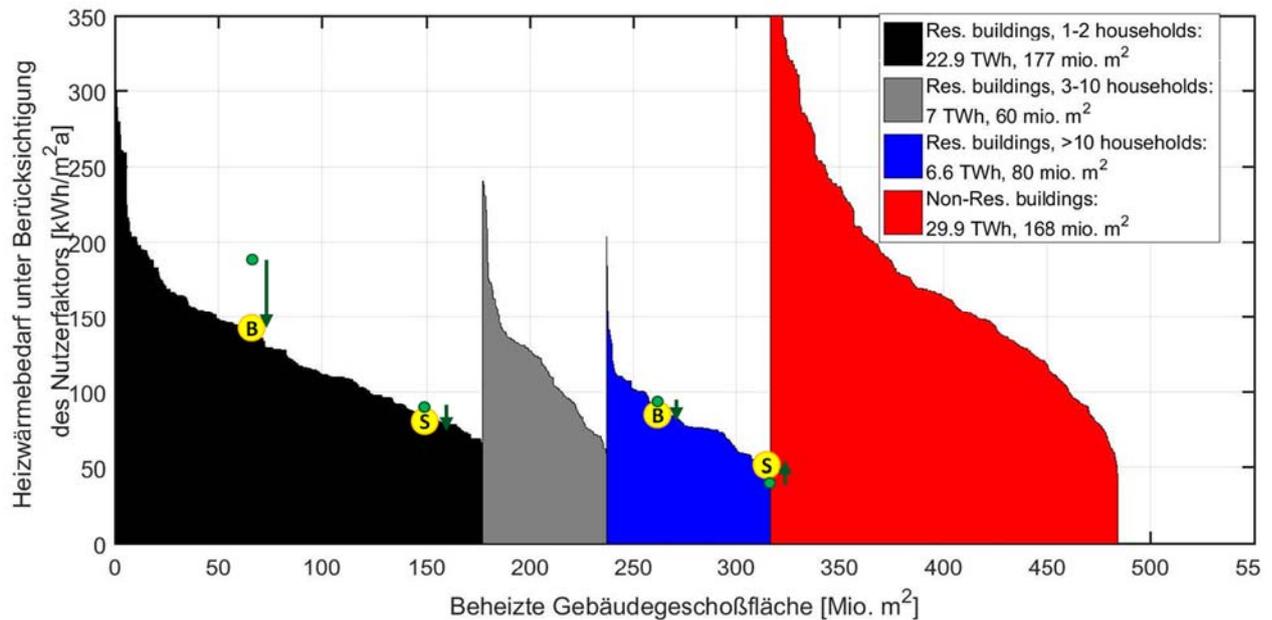


Abbildung 97. Bestand alter unsanierter Gebäude in Österreich, dargestellt als gereihter HWB unter Berücksichtigung des Nutzerfaktors über der beheizten Gebäudefläche in den Kategorien Einfamilienhäusern, kleine und größere Mehrfamilienhäuser sowie Nichtwohngebäuden. „B“ bezeichnet die Referenzgebäude im unsanierten Bestand, „S“ jene für sanierte Gebäude. Die Pfeile stellen die Differenz zwischen HWB nach Norm und nach Berücksichtigung des Nutzerfaktors dar.

Die folgende Tabelle zeigt die charakteristischen Kenngrößen für die gewählten Referenzgebäude. Die Fläche beträgt bei allen Einfamilienhaus-Typen 150 m², bei den Mehrfamilienhaustypen 1500 m². Es sei darauf hingewiesen, dass somit keine sehr großen mehrgeschoßigen Wohnbauten in die Referenztypen aufgenommen wurden. Ebenfalls wurden keine Nicht-Wohngebäude betrachtet, da diese hinsichtlich ihrer Nutzungs- und Größenstruktur eine äußerst starke Heterogenität aufweisen.

Tabelle 11. Charakteristische Kenngrößen für die Referenzgebäude.

	Brutto-grundfläche (m ²)	Bestand			
		Spezifischer HWB (kWh/(m ² a))	Spezifischer HWB nach Nutzerfaktor (kWh/(m ² a))	spezifischer WWWW (kWh/(m ² a))	Gesamter HWB + WWWW nach Nutzerfaktor (MWh/a)
		Bestand			
EFH	150	175	142	15	24
MFH	1500	91	87	15	153
		Saniert			
EFH	150	88	79	15	14
MFH	1500	44	46	15	91
		Neubau			
EFH	150	40	40	15	8
MFH	1500	30	30	15	68

Es wurde angenommen, dass die Gebäude keine Lüftung mit Wärmerückgewinnung aufweisen.

Die folgende Abbildung zeigt die Relevanz der verschiedenen Referenzgebäude im aktuellen Gebäudebestand in Österreich. In Einfamilienhäusern, die einen Wärmebedarf haben, der dem unsanierten Einfamilienhaus entspricht, wird der höchste Nutzenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser in der Höhe von 19 TWh benötigt.

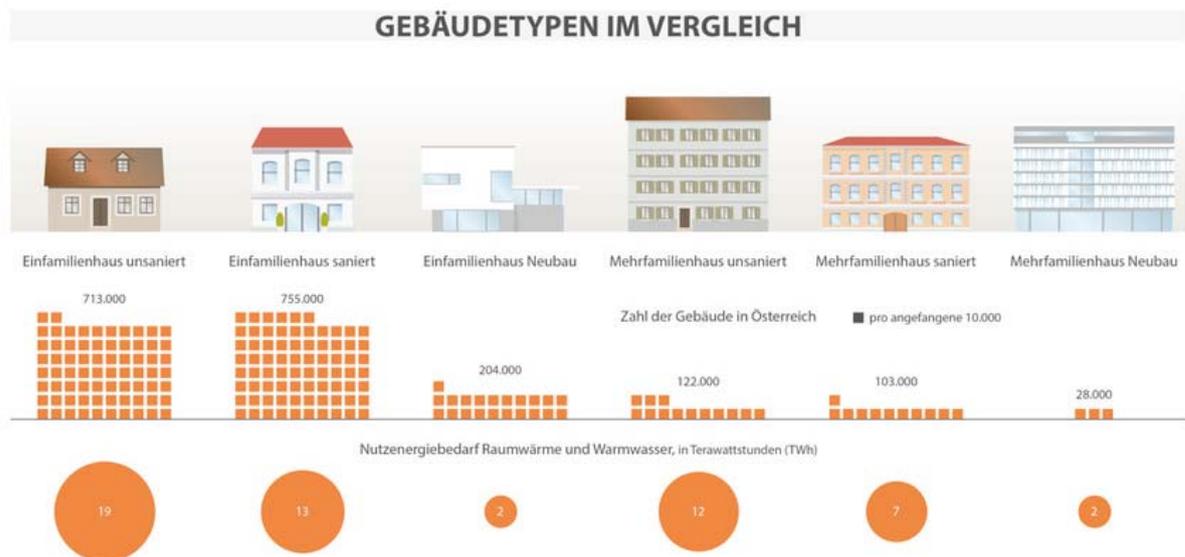


Abbildung 98: Relevanz der Referenzgebäude in Österreich: Anzahl Gebäude und entsprechender Nutzenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser. (APA-Auftragsgrafik)

5.2 Ökonomische Rahmenbedingungen und Eingangsdaten

Da die Energiepreise zumindest einiger Energieträger in der Vergangenheit eine durchaus beachtliche Volatilität aufwiesen, kommt der Annahme zu den künftigen Energiepreisen eine gewisse Bedeutung bei. Es wurde die Entwicklung der Primärenergiepreise gemäß PRIMES-Referenz-Szenario 2015 herangezogen. Diese Entwicklung der Primärenergiepreise wird von der Europäischen Kommission den Mitgliedstaaten als Standard empfohlen, beispielsweise im Zuge der Szenarien-Erstellung für den Treibhausgas-Monitoring-Mechanismus. Die daraus abgeleiteten Haushaltspreise wurden in Anlehnung an die Preis-Entwicklung verwendet, die für die Erstellung der Energieszenarien 2017 (Umweltbundesamt, TU-Wien, e-think, AEA, TU-Graz im Auftrag des BMLFUW) verwendet wurden (s. Abbildung 67). Bei Fernwärme wird der Preis exemplarisch für ein größeres städtisches Fernwärmenetz dargestellt. Die Fernwärmepreise variieren je nach Netz- und Wärmeerzeugungsstruktur beträchtlich.

Als Kostendaten wurden die folgenden Quellen berücksichtigt: ÖGUT, 2011; AEA 2016; Vorarlberger Energieinstitut Heizrechner; TU-Wien, Datenbank des Modells Invert; Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016 sowie Bremer Energieinstitut, 2007.

Die Investitionen beinhalten nicht das Wärmeabgabesystem, da hier je nach Gebäude und Art der notwendigen Maßnahmen erhebliche Unsicherheiten und Bandbreiten existieren. Vielmehr wurde eine entsprechend passende Jahresarbeitszahl für das angenommene Wärmeverteilsystem gewählt sowie in der Parametervariation ein besonderes Augenmerk auf diesen Wert gelegt (s. Kapitel 4.1).

Die Solarthermie-Anlagen wurden in Kombination mit Öl- und Gas basierten Heizsystemen so ausgelegt, dass die Grenzwerte für CO₂-Emissionen nach OIB Richtlinie 6 erreicht werden.

Da im Mehrfamilienhaus-Bereich Scheitholz-Zentralheizungen in der Praxis kaum angewandt werden und dasselbe für Hackgut-Heizungen in Einfamilienhäusern gilt, werden im Folgenden an Biomasseheizungen in Mehrfamilienhäusern nur Hackgut- und Pellets-Kessel betrachtet sowie in Einfamilienhäusern nur Scheitholz- und Pelletskessel.

Tabelle 12. Input-Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung Mehrfamiliengebäude.

		Unsanierter Bestand									Saniert									Neubau								
		Erdgas	Erdgas+Solar	Heizöl	Heizöl+Solar	Hackgut	Pellets	Fernwärme	WP Luft	WP Sole	Erdgas	Erdgas+Solar	Heizöl	Heizöl+Solar	Hackgut	Pellets	Fernwärme	WP Luft	WP Sole	Erdgas	Erdgas+Solar	Heizöl	Heizöl+Solar	Hackgut	Pellets	Fernwärme	WP Luft	WP Sole
Nutzwärmeb. RW_eff.	MWh/a	130	130	130	130	130	130	130	130	130	68	68	68	68	68	68	68	68	68	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Nutzwärmeb. RW_Norm	MWh/a	136	136	136	136	136	136	136	136	136	68	68	68	68	68	68	68	68	68	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Nutzwärmeb. Warmwasser	MWh/a	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Jahresnutzungsgrad bzw. JAZ Raumwärme*	%	0,9	0,9	0,85	0,85	0,8	0,8	0,9	2,1	2,7	0,9	0,9	0,85	0,85	0,8	0,8	0,9	2,61	3,5	0,9	0,9	0,85	0,85	0,8	0,8	0,9	3	4,1
Solareertrag	MWh/a		138		13							14		395							14		17					
Endenergieb.	MWh/a	202	189	214	201	227	227	202	86	71	126	112	133	95	142	142	126	47	40	92	78	97	80	103	103	92	32	28
Investition	1000 €	24	43	29	48	60	53	24	49	84	21	41	25	85	52	44	21	41	68	19	40	23	51	48	41	20	38	62
Betriebs- und Wartungskosten	1000 €/a	0,73	0,73	0,86	0,86	2,99	1,58	0,12	1,37	1,67	0,73	0,73	0,86	0,86	2,99	1,58	0,12	1,37	1,67	0,73	0,73	0,86	0,86	2,99	1,58	0,12	1,37	1,67

* Inklusive der Verteilverluste im Gebäude

Tabelle 13. Input-Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung Einfamiliengebäude.

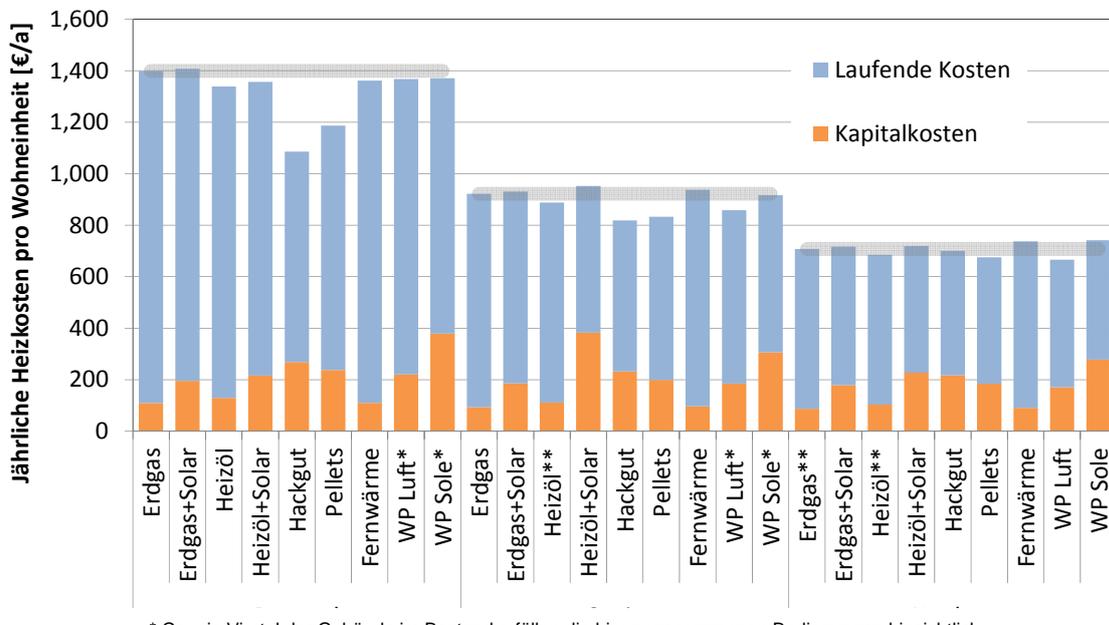
		Unsanierter Bestand									Saniert									Neubau									
		Erdgas	Erdgas+Solar	Heizöl	Heizöl+Solar	Stückholz	Pellets	Fernwärme	WP Luft	WP Sole	Erdgas	Erdgas+Solar	Heizöl	Heizöl+Solar	Stückholz	Pellets	Fernwärme	WP Luft	WP Sole	Erdgas	Erdgas+Solar	Heizöl	Heizöl+Solar	Stückholz	Pellets	Fernwärme	WP Luft	WP Sole	
Nutzwärmeb. RW_eff.	MWh/a	21	21	21	21	21	21	21	21	21	12	12	12	12	12	12	12	12	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Nutzwärmeb. RW_Norm	MWh/a	26	26	26	26	26	26	26	26	26	13	13	13	13	13	13	13	13	13	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Nutzwärmeb. Warmwasser	MWh/a	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Jahresnutzungsgrad bzw. JAZ Raumwärme	%	0,9	0,9	0,85	0,85	0,76	0,8	0,9	2,1	2,7	0,9	0,9	0,85	0,85	0,76	0,8	0,9	2,61	3,5	0,9	0,9	0,85	0,85	0,76	0,8	0,9	3	4,1	
Solarertrag	MWh/a		2,2		2,15							2,2		6,0							2,2		2,5						
Endenergieb.	MWh/a	34,2	32,0	36,2	34,0	40,5	38,4	34,2	14,5	11,7	19,6	17,4	20,7	14,8	23,2	22,0	19,6	7,0	5,7	10,8	8,7	11,5	9,0	12,8	12,2	10,8	3,6	3,1	
Investition	1000 €	11,7	15,2	13,9	17,4	15,6	20,9	12,9	21,5	30,9	10,8	14,3	14,6	24,8	15,6	17,6	12,9	19,0	25,1	9,6	13,1	12,7	16,9	15,4	17,1	12,9	15,0	21,0	
Betriebs- und Wartungskosten	€/a	300	350	350	400	400	400	65	250	300	300	350	350	400	400	400	65	250	300	300	350	350	400	400	400	65	250	300	

* Inklusive der Verteilverluste im Gebäude

5.3 Ergebnisse und Parametervariation

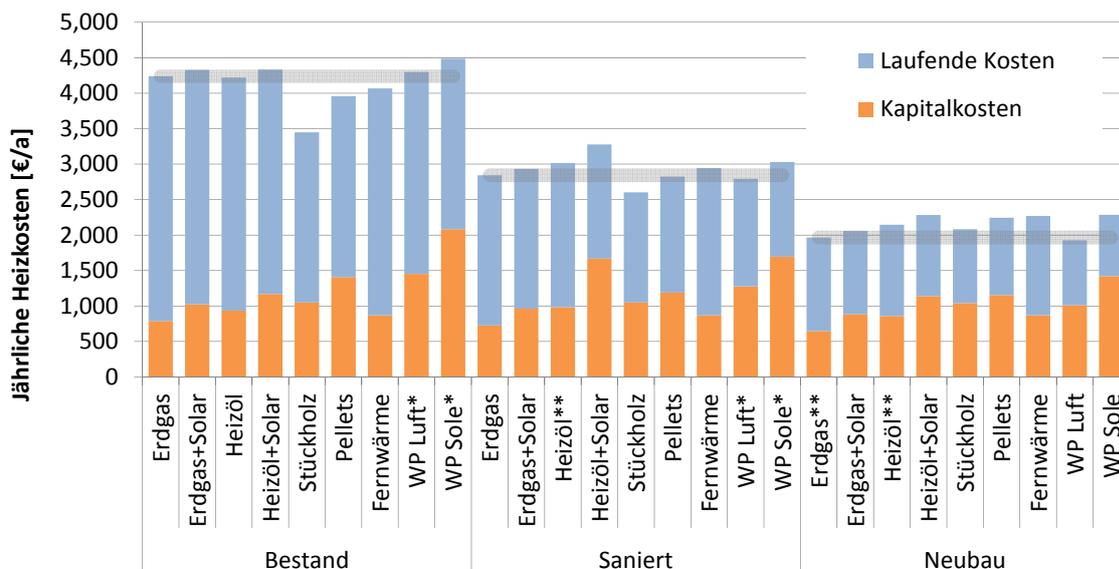
Abbildung 99 und Abbildung 100 stellen die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse für Mehrfamilienhäuser sowie für Einfamilienhäuser dar. Grundsätzlich zeigt sich, dass die Kosten der verschiedenen Heizsysteme vor allem bei sanierten Gebäuden sowie im Neubau in einem sehr ähnlichen Bereich liegen. Im unsanierten Bestand können die kapitalintensiven Biomasse-Heizungen, die im Betrieb günstiger sind als andere Heizsysteme, eine wirtschaftlich attraktive Lösung darstellen.

Für jedes Heizsystem gilt, dass individuell beträchtliche Barrieren für die Installation existieren können, beispielsweise die räumliche Verfügbarkeit eines Brennstofflagerraums oder die örtlichen Möglichkeiten für Erdwärme-Kollektoren. Darüber hinaus wurden z.B. die bei Scheitholzheizungen erforderliche Arbeitszeit und der Aufwand zum Beheizen des Kessels nicht berücksichtigt.



* Ca. ein Viertel der Gebäude im Bestand erfüllen die hier angenommenen Bedingungen hinsichtlich der Vorlauftemperatur des Heizsystems.
 ** Erfüllen die Anforderungen gemäß OIB-330.6-014/14-012 nicht.

Abbildung 99. Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Heizsysteme über den Betrachtungszeitraum für eine 80m² Wohneinheit in den Mehrfamilienhaus-Referenzgebäuden. Der graue Balken markiert die Kosten des Systems Erdgas ohne Solarthermie. Fernwärmepreise und –tarifstrukturen variieren zwischen verschiedenen Systemen beträchtlich; es wurde hier ein Mittel mehrerer großer städtischer Fernwärmenetze betrachtet.



* Ca. ein Viertel der Gebäude im Bestand erfüllen die hier angenommenen Bedingungen hinsichtlich der Vorlauftemperatur des Heizsystems.
 ** Erfüllen die Anforderungen gemäß OIB-330.6-014/14-012 nicht.

Abbildung 100. Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Heizsysteme über den Betrachtungszeitraum für die Einfamilienhaus-Referenzgebäude. Der graue Balken markiert die Kosten des Systems Erdgas ohne Solarthermie. Fernwärmepreise und –tarifstrukturen variieren zwischen verschiedenen Systemen beträchtlich; es wurde hier ein Mittel mehrerer großer städtischer Fernwärmenetze betrachtet.

Es sei darauf hingewiesen, dass die in diesem Teilbericht betrachteten Technologien nicht alle möglichen und sinnvollen Kombinationen und Varianten von Heizsystemen beinhalten. Beispielsweise kann ähnlich wie in Wärmenetzen für größere Gebäude auch ein Erzeugungssportfolio von Biomasse, Wärmepumpe und PV oder Solarthermie mit Wärme- bzw. Kältespeichern interessant sein. Auch Aspekte der Lastverschiebung unter Einsatz der thermischen Speicher bzw. der Gebäudemasse um ein ökonomisches und energetisches Optimum zu erzielen wurden hier nicht berücksichtigt. Diese Punkte sind in Kapitel 4 diskutiert.

Da die meisten Heizsysteme in den verschiedenen Referenzgebäuden durchaus vergleichbare Kosten aufweisen, stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Variation verschiedener Parameter auf die Wirtschaftlichkeit hat. Darüber hinaus sind die oben dargestellten Inputdaten zum Teil beträchtlichen Unsicherheiten bzw. Abweichungen unterworfen. Für folgende Parameter wurde daher eine Variation durchgeführt:

- CO₂-Steuern
 - o Hier wurde eine Bandbreite von 50 bis 150 €/tCO₂ angesetzt. Auch wenn aus heutiger Sicht unklar ist, in welcher Höhe und ab welchem Zeitpunkt CO₂-Steuern eingeführt werden, besteht in dem Zeitraum von 20 Jahren (oder mehr), für die die Entscheidung hinsichtlich eines Heizsystems

getroffen wird, eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass die Politik derartige Maßnahmen trifft.

- Fernwärmeanlagen weisen aufgrund ihres unterschiedlichen Erzeugungsmix' abweichende CO₂-Emissionen auf. Diese möglichen Unterschiede wurden in der Darstellung nicht berücksichtigt.
- Energiepreise
 - Die im Zeitraum 2004-2017 beobachtbaren minimalen und maximalen Werte wurden als Bandbreite dargestellt.
 - Für Erdgas, Strom und Pellets wurde darüber hinaus die aktuell beobachtbare Bandbreite der Erdgaspreise verschiedener Anbieter dargestellt.
- Jahresarbeitszahlen bzw. Jahresnutzungsgrade
 - Die Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen bzw. Bandbreiten ergeben sich aus den Analysen in Kapitel 4.1. Es sei darauf hingewiesen, dass die maximalen COP-Werte nur für niedrige Vorlauftemperaturen möglich wären, wie sie z.B. über Bodenheizung erreichbar sind. Im Fall der Luftwärmepumpen ist darüber hinaus ein günstiges Standortklima eine Voraussetzung zur Erreichung der Maximal-Werte.
 - Die Jahresnutzungsgrade der anderen Heizsysteme wurden pauschal im Bereich +5 % / -10 % variiert.
- Auch bezüglich der Investitionskosten gibt es im Einzelfall erhebliche Abweichungen. Örtliche Gegebenheiten können darüber hinaus auch Barrieren darstellen, die in der Praxis nicht über zusätzliche Investitionskosten abgedeckt werden können. Dies gilt beispielsweise für die Platzverfügbarkeit für einen Brennstofflagerraum oder einen Gas- oder Fernwärmeanschluss. Daher wurden die Investitionskosten nicht in die hier dargestellten Bandbreiten – Grafiken aufgenommen.

Die Ergebnisse in Abbildung 101 bis Abbildung 104 zeigen die Bandbreiten der Kosten, die sich für die Parametervariation in vier Referenzgebäuden ergeben. Generell zeigt sich, dass die Einführung einer CO₂-Steuer in der Höhe von 150 €/tCO₂ Erdgas und Heizöl deutlich belasten würde. So müssten bei Einführung einer CO₂-Steuer von 150 €/tCO₂ Eigentümer von unsanierten Einfamilienhäusern mit Zusatzkosten von 1200 €/a bis 1700 €/a rechnen. Gleichzeitig ist ersichtlich, dass vor allem bei Heizöl die Preisvolatilität in der Vergangenheit bereits noch höher war, als dies dem Niveau einer CO₂-Steuer von 150 €/tCO₂ entspricht. Würde der Heizölpreis

wieder auf den höchsten Wert in der Periode seit 2004 ansteigen, würde das die jährlichen Heizkosten in dem für diese Studie gewählten unsanierten Referenzgebäude um etwa 1800 €/a erhöhen. Auch bei Pellets stellen die Preisschwankungen so wie sie bereits in der Vergangenheit aufgetreten sind, ein gewisses Risiko dar, allerdings in geringerem Umfang als im Fall von Heizöl.

Der Energiepreis hat nicht nur in der Vergangenheit volatiles Verhalten gezeigt. Auch am aktuellen Markt kann eine nicht unbeträchtliche Abweichung der Energiepreise von Seiten verschiedener Anbieter beobachtet werden. Für den Fall von Erdgas und Strom liegt diese beispielsweise über der historischen Bandbreite an Energiepreisen. Dies kann als Zeichen interpretiert werden, dass Konsumentinnen und Konsumenten sich nicht notwendiger Weise für das Heizsystem mit den geringsten Kosten entscheiden.

Für Wärmepumpen liegt das größte Risiko darin, die in der Basis-Variante der Heizkostenrechnung unterstellte Jahresarbeitszahl nicht zu erreichen. Vor allem im Bestand ist dieses Risiko beträchtlich, da die meisten Bestandsgebäude nicht ausreichend geringe Vorlauftemperaturen aufweisen.

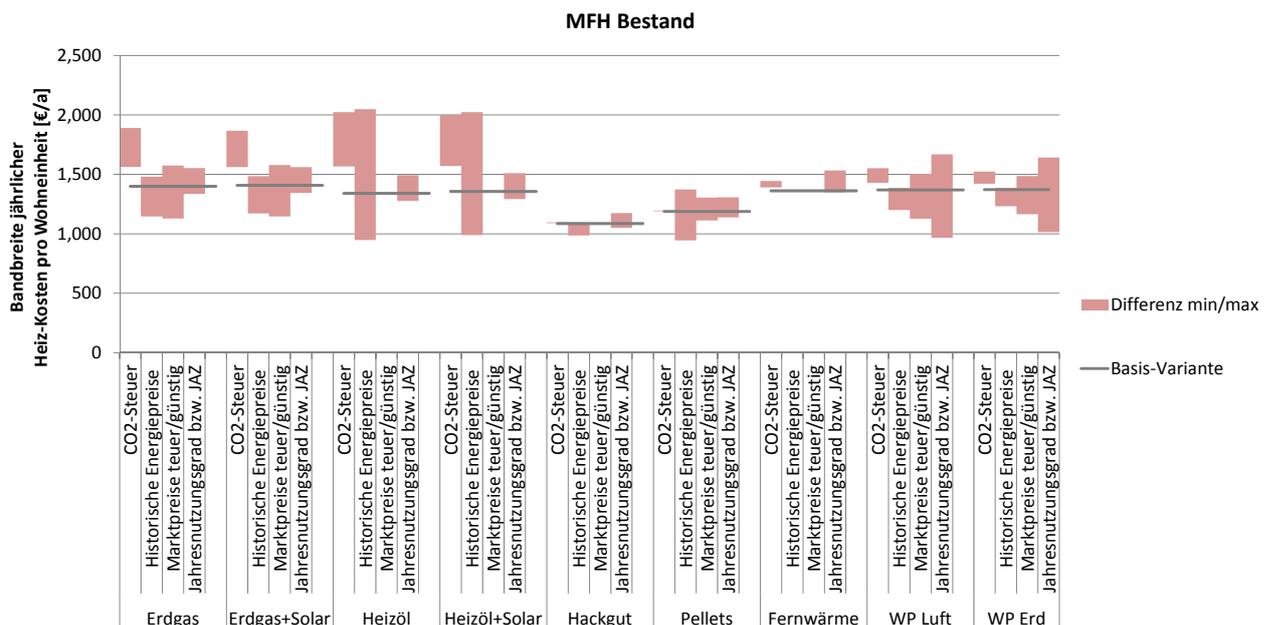


Abbildung 101. Bandbreiten der Wirtschaftlichkeit für die Variation verschiedener Parameter für eine 80 m² Wohneinheit im Bestand-Mehrfamilienhaus-Referenzgebäude

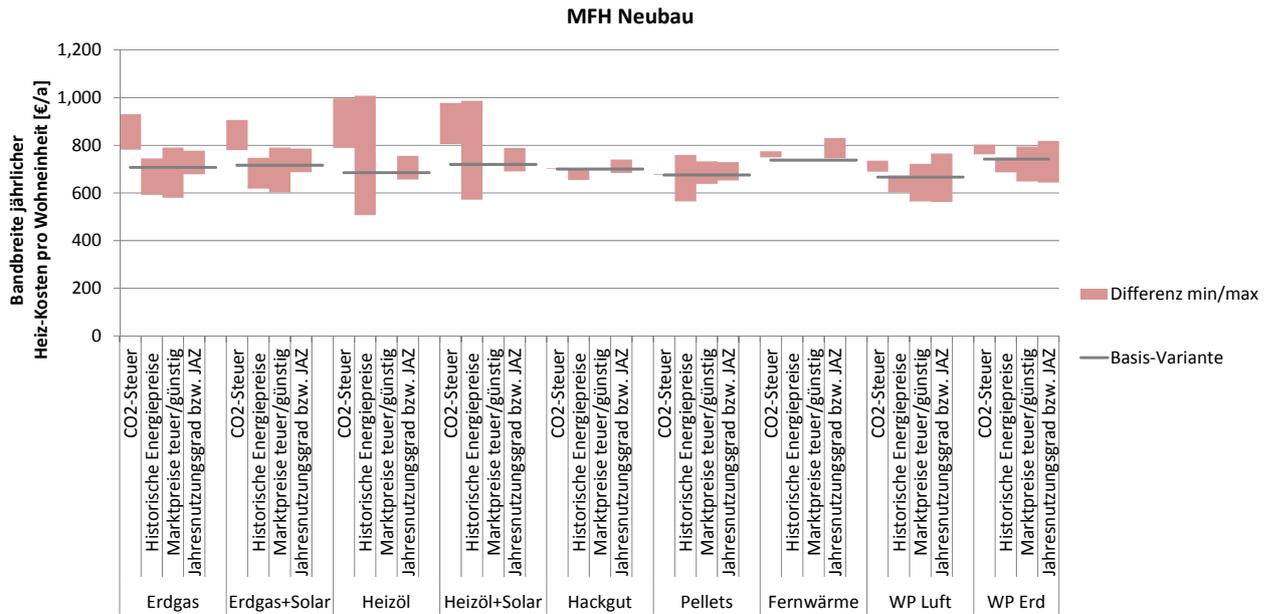


Abbildung 102. Bandbreiten der Wirtschaftlichkeit für die Variation verschiedener Parameter für eine 80 m² Wohneinheit im Neubau-Mehrfamilienhaus-Referenzgebäude

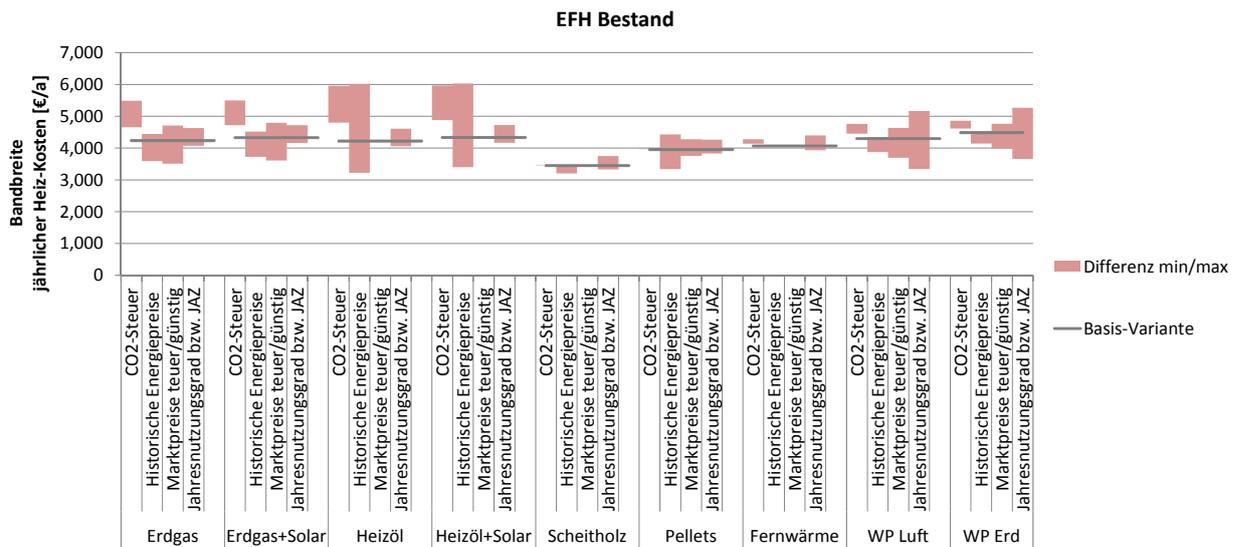


Abbildung 103. Bandbreiten der Wirtschaftlichkeit für die Variation verschiedener Parameter für das Referenzgebäude EFH-Bestand

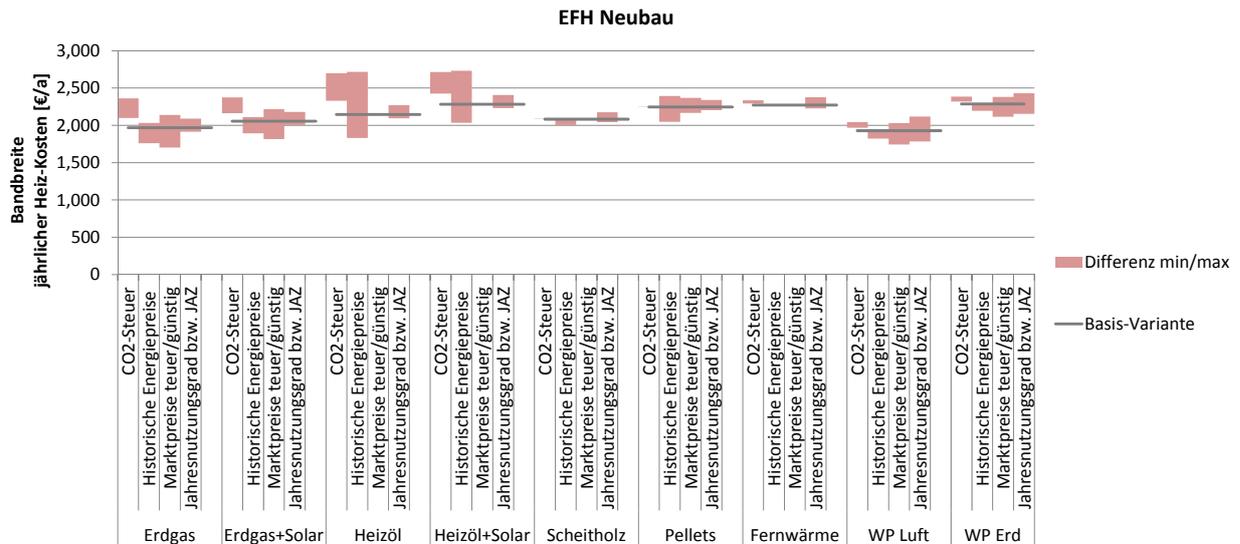


Abbildung 104. Bandbreiten der Wirtschaftlichkeit für die Variation verschiedener Parameter für das Referenzgebäude EFH-Neubau

5.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen aus der Heizkostenanalyse

Die verschiedenen Heizsysteme weisen unterschiedliche Strukturen und Verhältnisse von Kapitalkosten und laufenden Kosten auf. Während in den meisten Fällen Kapitalkosten relativ gut abschätzbar sind, stellt sich bei laufenden Kosten das Risiko steigender Energiepreise bzw. –besteuerung. Dieses ist bei fossil-basierten Heizsystemen deutlich höher als bei erneuerbaren.

Für jede der betrachteten Gebäudeklassen gibt es eine im Vergleich zu Erdgas zumindest kostenneutrale erneuerbare Option. Das spricht dafür, dass zur Erreichung klimapolitischer Zielsetzungen Standards (z.B. über Bauordnung) mit Vorgaben zur Nutzung erneuerbarer Heizsysteme wirtschaftlich vertretbar sind. Dennoch bestehen auch Barrieren und Hemmnisse, die über verschiedene politische Instrumente adressiert werden müssen. Hinsichtlich der Wirksamkeit ökonomischer Anreize ist zu betonen, dass Kostenneutralität (oder auch ein geringfügiger Kostenvorteil) im Wärmesektor nicht ausreichend ist, um eine Wärmewende sicherzustellen. Es braucht ein ausreichend großes ökonomisches, regulatorisches und/oder informatorisches Signal.

Es gibt im Einzelfall Barrieren und Akzeptanzfragen, die in der Kostenanalyse nur unzureichend berücksichtigt werden konnten und von Fall zu Fall betrachtet werden müssen, wie z.B.:

- Geringe Platzverfügbarkeit für Heizraum bzw. Brennstofflager
- Kein zentrales Wärmeverteilsystem im Gebäude vorhanden

- Beschränkte Möglichkeiten für Erdwärmekollektoren im dicht verbauten Gebiet

Die Kosten der Fernwärme auf einen einzigen Wert zu reduzieren stellt eine starke Vereinfachung dar. Die Kosten der Fernwärmebereitstellung sowie Fernwärmepreise variieren einerseits stark zwischen den verschiedenen Wärmenetzen. Andererseits hängen die Fernwärmepreise nicht zuletzt auch vom eingesetzten Erzeugungsportfolio in einem Wärmenetz ab, das sich in den letzten Jahren auch durchaus verändert hat und damit auch einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Fernwärme hat.

6 Diskussion politischer Instrumente, Schlussfolgerungen und Ausblick,

Eine Wärmewende mit weitestgehender Dekarbonisierung bis 2050 ist möglich, hängt allerdings von mehreren Faktoren ab, insbesondere (1) Überwindung der hohen Trägheit im Bestand von Heizsystemen und Gebäuden, (2) Dekarbonisierung des Strom- und Fernwärmesektors und (3) Deckung des verbleibenden, geringen Gas-Bedarfs über erneuerbare Ressourcen.

Die unterschiedlichen Regionen in Österreich sind mit unterschiedlichen Herausforderungen der Wärmewende konfrontiert.

Erneuerbare Heizsysteme sind im Wesentlichen kostenneutral oder günstiger als fossile Systeme. Für praktisch jedes Gebäude gibt es ein Heizungssystem auf Basis erneuerbarer Energieträger bzw. hocheffizienter Fernwärme, das gegenüber fossilen Energieträgern, unter Berücksichtigung von zukünftigen Energiepreissteigerungen und bei Zugrundelegen von angemessenen Kapitalertragserwartungen kostenneutral dargestellt werden kann. Die Unsicherheit bzgl. möglicher zukünftiger Energiepreisentwicklungen ist bei erneuerbaren Heizsystemen geringer als bei fossilen.

Die Kopplung von Strom- und Wärmesektor ist ein wichtiger Bestandteil der Wärmewende sowie als Flexibilitätsoption im Stromsektor. Diese Kopplung erfordert allerdings bestimmte technische Maßnahmen und regulative Komponenten, um das volle Potenzial, um zu einem effizienten Gesamtsystem beizutragen, tatsächlich auszuschöpfen.

Die Wärmewende erfordert höhere Investitionen in Gebäudesanierung und erneuerbare Heizsysteme, führt aber zu substanziiell geringeren laufenden Heizenergiekosten. Die Investitionen in Gebäudesanierung und Heizsysteme, aber auch in Infrastruktur von Wärmenetzen sind sehr langfristiger Natur. Insgesamt rechnen sich die höheren Investitionen, die zur Erreichung des Wärmewende-Szenarios erforderlich sind, langfristig aufgrund der reduzierten laufenden Heizenergiekosten. Allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Investoren und Eigentümer von Gebäuden auch tatsächlich bereit sind, Abschreibedauern von 20 Jahren oder darüber hinaus gemäß der technischen Lebensdauer zu akzeptieren. Darüber hinaus bestehen auch nicht-ökonomische Barrieren, wie mangelndes Bewusstsein und Information, mangelnde Ausbildung von Akteuren oder teilweise mangelnde Qualität in der Ausführung von Gebäudesanierungen.

Es ist somit nicht davon auszugehen ist, dass das Wärmewende-Szenario unter den aktuellen ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen Realität wird. Es bedarf

der Überwindung einer Reihe an ökonomischen, sozialen, gesellschaftlichen Barrieren und politischem Willen. Diese können nicht durch ein einziges Instrument, sondern durch ein Bündel an verschiedenen Maßnahmen adressiert und überwunden werden.

Hinsichtlich der Zielerreichung des vorgeschlagenen Wärmewende-Szenarios und des Zeitpfades der zu implementierenden politischen Instrumente ist insbesondere auf die üblicherweise langen Vorlaufzeiten zwischen Planung und Vorbereitung von energiepolitischen Maßnahmen und deren gelebter Umsetzung in der Praxis zu beachten.



Abbildung 105. Bündel an politischen Instrumenten zur Erreichung des Wärmewende-Szenarios

Abbildung 105 zeigt die wesentlichen Pfeiler des Maßnahmenbündels zur Erreichung des Wärmewende-Szenarios: (1) Informationskampagnen, Beratungsoffensiven, Qualitätssicherung sowie Forschung und Technologie-Entwicklung, (2) wirtschaftliche Begleitmaßnahmen, (3) regulatorische Instrumente, z.B. über Bauordnung und (4) strategische Wärme- und Kälteplanung. Das Ziel ist, dass diese auf europäischer, nationaler und lokaler Ebene Umsetzung finden: Aktivitäten für entsprechend ambitionierte EU-Richtlinien können einen Rahmen setzen, der ein konzertiertes Vorgehen in Europa erlaubt und somit Vorteile für die Wärmewende mit sich bringt, nicht zuletzt auch für die in Österreich ansässigen Technologie-Anbieter, die im Bereich erneuerbarer Heizsysteme sowie Gebäudesanierung aktiv sind. Dass die nationale Ebene bei der Zielsetzung, Realisierung von regulativen Maßnahmen sowie ökonomischen Anreizen, insbesondere steuerlicher Natur sowie der Umsetzung etwaiger EU-Richtlinien und gefordert ist, liegt auf der Hand. Darüber hinaus ist aber gerade im Wärmesektor auch die lokale Ebene entscheidend. Strategische Wärme-

und Kälteplanung und eine optimale Konzeption von Wärmenetzen, der Nutzung etwaiger Abwärmequellen sowie lokal verfügbarer erneuerbarer Wärmequellen erfordert ein auf regionale Gegebenheiten abgestimmtes Vorgehen. Dieses zu fördern, zu ermöglichen und mit entsprechenden Ressourcen zu versehen, ist wiederum die Aufgabe übergeordneter Entscheidungsträger.

Damit illustriert Abbildung 105, dass im Wärmesektor eine einzelne Maßnahmen bzw. ein energiepolitisches Instrument alleine bzw. die Umsetzung z.B. rein auf lokaler Ebene nicht zum Ziel führt. Neben dem breiten Maßnahmenbündel ist also eine breite Palette an Akteuren gefordert, um diese Maßnahmen letztlich in die Realität umzusetzen.

Die Maßnahmen werden im Folgenden näher diskutiert. Grundlage dafür stellen die Modellrechnungen mit dem Modell Invert/EE-Lab dar bzw. die im Modell implementierten politischen Rahmenbedingungen zur Erreichung des Wärmewende-Szenarios (s. Kapitel 2).²⁰ Auch wenn ein konkretes Set an politischen Instrumenten in den Modellrechnungen unterstellt wurde, so wird hier dennoch betont, dass auch andere Kombinationen von ähnlich ambitionierten Maßnahmen zu einem ähnlichen Ziel führen. Daher ist jedoch davon auszugehen, dass bei weniger stringenter Umsetzung eines der vorgeschlagenen Instrumente, an anderer Stelle eine höhere Politik-Intensität erforderlich wäre.

6.1 Informations-, Beratungs- und Qualitätsoffensive, F&E

Die Wärmewende erfordert eine aktive Mitgestaltung durch GebäudenutzerInnen, -eigentümerInnen und BürgerInnen. Gleichzeitig kommt manchen Akteuren eine besondere Rolle in dem Transitions-Prozess zu, die besonders adressiert werden müssen.

Aus der umfangreichen Liste möglicher und wichtiger Maßnahmen wie Energieberatungen oder Ausbildungsoffensiven für Handwerker, seien die folgenden hervorgehoben:

- Glaubwürdige und transparente **Kommunikation der Klimaschutzziele und -maßnahmen** im Wärmesektor und im gesamten Energiesystem
Eine breite Akzeptanz und das Vertrauen der Akteure ist für die Wärmewende entscheidend. Daher ist eine verlässliche, glaubwürdige und transparente Kommunikation mit partizipatorischen Elementen entscheidend.²¹ Sichtbare,

²⁰ Eine detailliertere Darstellung der Implementierung energiepolitischer Instrumente findet sich auch in Müller et al., (2017).

²¹ Im Wärmewende-Szenario werden ab 2020 bewusstseinsbildende Maßnahmen unterstellt, die dazu führen, dass Entscheidungsträger sich des stetigen Anstieges der Energiepreise sowie der

positiv besetzte Leuchtturm-Projekte können darüber hinaus dazu beitragen, die Identifikation mit dem Projekt „Wärmewende“ zu erhöhen.

Galindo Fernández et al., (2016) betonen darüber hinaus, dass in Dänemark das „empowerment“ von KonsumentInnen ein wesentlicher Erfolgsfaktor für den wichtigen Stellenwert des Fernwärmesektors in der Dekarbonisierung darstellt.

- **„Change agents“ der Wärmewende adressieren**

Insbesondere Professionisten wie Handwerker, Baumeister und Architekten sind zentrale „change agents“ der Wärmewende. Die bestehenden politischen Instrumente beziehen sich meist entweder auf die Nachfrage nach Wärme bzw. Technologien (Gebäudeeigentümer, End-Nutzer) oder auf die Angebotsseite (EVUs, Technologieanbieter etc). Die Vermittler und somit wesentliche „change agents“ werden allerdings dabei oft nicht aktiv mit einbezogen. Neben Ausbildungsaktivitäten, können auch öffentlich unterstützte Netzwerke von Handwerkern, die in die Wärmewende involviert sind, positive Impulse setzen. Auch ist zu prüfen, inwiefern in der Gewerbeordnung neue Formen von „Energie-Handwerkern“ mit Fokus auf umfassende Gebäudesanierung vorgesehen werden sollte. Die Anreizwirkung von energiepolitischen Instrumenten auf diese „change agents“ ist ebenfalls zu prüfen.

- **Aufbau von Kompetenzen und Know-How in der öffentlichen Verwaltung**

Wie erwähnt, spielt die kommunale und regionale Ebene auch eine wesentliche Rolle in der Umsetzung strategischer Wärme- und Kälteplanung. Dafür ist der Aufbau personeller Kapazitäten und Know-how erforderlich, um kompetent diese Planungsaktivitäten zu begleiten bzw. durchzuführen.

- **Forschung und Technologieentwicklung:**

Auch wenn wesentliche technologische Komponenten für die Wärmewende verfügbar sind, besteht doch in der Materialforschung (z.B. thermische Speicher, Dämmstoffe) sowie in der optimalen Systemintegration und ökonomisch effizienten Ausrichtung von Maßnahmen wesentlicher Forschungsbedarf. Beispielsweise beim Übergang von Wärmenetzen in Richtung erneuerbarer Niedertemperatur-Netze bestehen zahlreiche Herausforderungen, deren Lösungen noch intensiver erforscht werden müssen.

- **Individueller Sanierungsfahrplan**

Die Sanierung eines Gebäudes ist kompliziert und zeitaufwendig. Das

CO₂-Abgabe bewusst werden. Dies führt dazu, dass diese in ihren Investitionsentscheidungen von steigenden Energiepreisen ausgehen und diese berücksichtigen.

mangelnde Wissen über die allgemeine Vorgangsweise und insbesondere über die sinnvoll abgestimmte Reihenfolge schrittweiser Sanierungsmaßnahmen ist ein wesentliches Hindernis für die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden. Ein individueller Sanierungsfahrplan ist ein Dokument, das Energieberater gemeinsam mit den Eigentümern auf Basis einer detaillierten Energiebedarfsberechnung erstellen. Es berücksichtigt die spezifische Situation der Bewohner wie Alter, finanzielle und familiäre Situation etc. und bietet dem Eigentümer Orientierung über mögliche, notwendige und sinnvolle schrittweise Sanierungsmaßnahmen. Der Sanierungsfahrplan kann mit einem Log-Buch kombiniert werden, in dem alle wesentlichen Daten zum Gebäude gesammelt werden. In Ländern wie Flandern (Belgien) oder Baden-Württemberg (Deutschland) sind derartige Systeme bereits in Vorbereitung bzw. umgesetzt.²² Darüber hinaus wird im Zuge der aktuellen Revision der europäischen Gebäuderichtlinie (European Commission, 2016) vorgeschlagen, individuelle Sanierungsfahrpläne vorzusehen. Im Wärmewende-Szenario wird die Einführung eines gebäudeindividuellen Sanierungsfahrplanes ab dem Jahr 2022 mit einer gekoppelten Sanierungsverpflichtung unterstellt (s. Kapitel 6.3).

6.2 Wirtschaftliche Begleitmaßnahmen

Die wirtschaftlichen Begleitmaßnahmen sollen dazu dienen, die Akzeptanz für die ordnungspolitischen Maßnahmen sicherzustellen. Dabei sollen zwei Maßnahmen herausgegriffen werden:

- **CO₂-Abgabe:** Eine CO₂-Abgabe kann dazu beitragen, zumindest einen Teil der externen Kosten, die aufgrund der CO₂-Emissionen anfallen, zu internalisieren und so den Umstieg auf erneuerbar Heizsystems sowie thermische Gebäudesanierung anzureizen. Analysen zeigen allerdings, dass Gebäudeeigentümer bzw. –nutzer auf geringe Niveaus einer CO₂-Steuer nicht stark reagieren. Daher ist zusätzlich zu einem ausreichenden Niveau auch ein transparent und glaubwürdig kommunizierter Pfad einer steigenden CO₂-Abgabe entscheidend. In einigen Ländern, wie Frankreich und Schweden, wurden derartige CO₂-Abgaben bereits implementiert und zum Teil auch mit einem Pfad steigender Abgaben verknüpft. Im Szenario Wärmewende wurde ab 2025 eine CO₂-Abgabe in der Höhe von 25 €/t CO₂ unterstellt, die bis zum Jahr 2050 auf 200 €/tCO₂ ansteigt. Die geringere Besteuerung von Heizöl als von Diesel ist in diesem Zusammenhang besonders kritisch anzumerken. Falls eine CO₂-Steuer

²² Im Rahmen des EU Projekts iBROAD (<http://ibroad-project.eu/>) werden aktuell mögliche Ausgestaltungsvarianten von individuellen Sanierungsfahrplänen untersucht sowie in der Praxis getestet.

realpolitisch nicht umsetzbar sein sollte, wäre die Abschaffung der bevorzugten Stellung von Heizöl im Vergleich zu Diesel ein erster Schritt in Richtung einer wirksamen Ersatzmaßnahme.

- **Fördermittel** für thermische Sanierungen und erneuerbare Energieträger:

Die Förderung thermischer Sanierungen und für erneuerbare Energieträger und Heizsysteme hat u.a. die Aufgabe, technologiepolitische Impulse zu setzen (d.h. besonders effiziente Technologien besonders fördern), zur Akzeptanz der Wärmewende sowie zur Erleichterung des Kapitalzugangs beizutragen. Während in den letzten Jahren die entsprechenden Fördermittel real abgenommen haben, geht das Wärmewende-Szenario von einem Anstieg dieser Mittel ab 2030 aus. Die spezifischen Förderungen für die thermische Sanierung werden im Wärmewende-Szenario ebenfalls angepasst. Die Fördersätze verschieben sich ab 2021 zunehmend hin zur effizientesten Sanierungsvariante. Ab 2027 wird nur noch diese gefördert.

- Für einige Haushalte in Österreich ist eine Investition in ein neues Heizsystem aus wirtschaftlichen Gründen unmöglich. Die Bedürfnisse dieser von Energiearmut betroffenen Haushalte müssen speziell adressiert und gelöst werden: Energiearmut ist primär ein soziales Problem und darf nicht als Vorwand dafür missbraucht werden, die Energiewende zu verzögern. Mittel, die durch eine adäquate Heizölbesteuerung und/oder CO₂ berücksichtigende Abgaben (etwa eine CO₂ Steuer) aufgebracht werden, können solchen Haushalten direkt und zweckgebunden zugeführt werden.
- **Kohärente und innovative Förderinstrumente:**
Neben der ausreichenden Dotierung von Fördertöpfen ist deren Gestaltung im Sinne eines effektiven Anreizes für

6.3 Regulatorische Instrumente

- Analog zum „Pickerl“ bei Kraftfahrzeugen, die sicherstellen, dass die Fahrzeuge sowohl hinsichtlich ihrer Sicherheit als auch der Emissionen und ihrer Effizienz auf einem durch den Gesetzgeber festgelegten Standard befinden, sollten auch für **Heizsysteme regelmäßige Überprüfungen** sowie die Einhaltung gewisser – im Laufe der Zeit angepasster – Grenzwerte, wie Effizienz als auch von CO₂-Emissionen vorgesehen werden. Diese Überprüfungen sollten über den Heizkessel – wie aktuell in einigen Bundesländern der Fall – hinausgehen und auch die hydraulische Einbindung beinhalten. Dadurch soll auch verhindert werden, dass sehr alte Heizsysteme mit geringen Wirkungsgraden und hohen Emissionen deutlich über ihre technische Lebensdauer hinaus ohne Ersatzmaßnahmen betrieben werden.

- **Verbot von Heizöl- und Kohlekesseln:** Im Wärmewende-Szenario ist unterstellt, dass die Nutzung von Öl- und Kohlekesseln im Neubau ab dem Jahr 2022 nicht mehr erlaubt ist. Aufgrund des geringen Anteils von Ölkesseln im Neubau ist dies eine Maßnahmen, die Signalwirkung zeigen soll und für die nicht mit Akzeptanz-Problemen zu rechnen ist.
Für Bestandsgebäude wurde im Wärmewende-Szenario angenommen, dass ein Verbot der Installation neuer Ölkessel ab dem Jahr 2025 gilt. Ab diesem Zeitpunkt wäre somit weder der Wechsel von anderen Energieträgern auf Heizöl, noch der Ersatz eines bestehenden Heizölkessels durch einen neuen Heizölkessel möglich.
- **Verpflichtung zum Ersatz bestehender öl- und kohlebefuerter Heizkessel:** Eine mit langfristigen Übergangsregelungen und transparent kommunizierter Verpflichtung zum Ersatz bestehender öl- und kohlebefuerter Heizkessel kann sicherstellen, dass fossile Heizsysteme nicht im Betrieb bleiben und somit die Einhaltung von Klimaschutzanstrengungen im Raumwärme- und Warmwasser verhindern.²³
- **Nutzungspflicht erneuerbarer Energieträger:** Mit dem Niedrigstenergiegebäude-Standard, der in der österreichischen Bauordnung implementiert ist besteht ab 2021 die Nutzungspflicht von erneuerbaren Energieträgern im Neubau bzw. bei thermischer Sanierung von Bestandsgebäuden.
Andere Regionen (z.B. Baden-Württemberg) zeigen, dass eine derartige Nutzungspflicht auch im Falle eines Kesseltausches gefordert werden kann. Im Wärmewende-Szenario wurde unterstellt, dass eine derartige Nutzungspflicht ab dem Jahr 2030 auch im Fall eines Kesseltauschs besteht.
Diese Nutzungspflicht erneuerbarer Energieträger muss mit Effizienzstandards verknüpft werden. Insbesondere ist auch bei Wärmepumpen auf die Erreichung hoher Jahresarbeitszahlen zu achten. In dem Zusammenhang wird vorgeschlagen, Luftwärmepumpen nur dann als erneuerbare Technologie anzusehen, wenn die Auslegungstemperatur des Heizsystems im Vorlauf 40°C nicht überschreitet. Für Erdreichwärmepumpen wird ein Grenzwert von 45°C als oberer Grenzwert empfohlen.

²³ Im Wärmewende-Szenario wird unterstellt, dass bestehende Heizungssysteme, die mit Heizöl oder Kohle befeuert werden, ab 2025 innerhalb einer angemessenen Zeitdauer durch alternative Systeme ersetzt werden müssen. Diese Verpflichtung betrifft alle betroffenen Heizkessel, deren Alter 27 Jahre überschritten hat. Als angemessener Zeitraum werden wiederum 10 Jahre (+2) definiert. Ab 2035 wird das erforderliche Alter auf 19 Jahre gesetzt, die Umsetzungspflicht wird auf 9 (+2) Jahre reduziert. Ab 2040 wird diese Bedingung nochmals verschärft und eine Umsetzungspflicht innerhalb von 6 (+2) Jahren gefordert.

- **Konsequente Überprüfung hinsichtlich Erfüllung der Vorgaben gemäß Bauordnung:** Die konsequente Einhaltung der Bauordnung ist ein wesentliches Element im Maßnahmenbündel. Die Praxis lässt vermuten, dass insbesondere bei der Sanierung von Gebäuden die tatsächliche Einhaltung der Bauordnung und gültigen OIB 6 Richtlinien nicht der Regelfall ist. Neben der Überprüfung stellt auch die Verbesserung der Ausbildung und der Qualitätssicherung ein wichtiges Instrument dar.
- **Gebäudeindividueller Sanierungsfahrplan:**

Der Gebäudeindividuelle Sanierungsfahrplan erfüllt zwei mögliche Zielsetzungen. Erstens dient er der Information und Beratung der Gebäudeeigentümer. Zusätzlich zum Energieausweis wird mit dem Eigentümer gemeinsam ein sehr spezifischer und genau auf das Gebäude und die individuelle Situation abgestimmter Fahrplan, entwickelt, wie das Projekt innerhalb eines akzeptablen Zeitrahmens auf einen guten Standard gebracht werden kann. Zweitens wäre es auch denkbar und sinnvoll, an diesen Fahrplan eine Verpflichtung zu koppeln, das Gebäude zu sanieren, wenn bestimmte Kriterien hinsichtlich der Effizienzstandards bzw. CO₂-Emissionen nicht erfüllt werden.

Im Wärmewende-Szenario wird die Einführung eines gebäudeindividuellen Sanierungsfahrplanes ab dem Jahr 2022 mit einer gekoppelten Sanierungsverpflichtung unterstellt. Dieses Instrument ist so ausgestaltet, dass Bestandsgebäude, die einen bestimmten Heizwärmebedarf (HWB) überschreiten, innerhalb einer vorgegebenen Frist thermisch sanieren müssen. Im Falle einer solchen thermischen Sanierung müssen die Vorgaben hinsichtlich des Heizwärmebedarfes gemäß dem Dokument „Nationaler Plan“ (OIB 2014) eingehalten werden. Gebäude, die als „schwer sanierbar“ eingestuft werden, unterliegen nicht einem solchen Sanierungsfahrplan.

6.4 Strategische Wärme- und Kälteplanung

Strategische Wärme- und Kälteplanung hat in anderen Ländern, vor allem in Skandinavien eine lange Tradition. Neben der Entwicklung kommunaler Klimaschutzpläne mit entsprechenden Maßnahmen und Zielen im Wärmebereich kommt vor allem der Zonierung, d.h. Ausweisen von Vorranggebieten für bestimmte Maßnahmen bzw. Technologien eine große Rolle zu. Dies gilt insbesondere für Wärmenetze, deren Effektivität wesentlich vom Anschlussgrad abhängt. Durch sorgfältig geplante und vorbereitete Fernwärmevorranggebiete können somit die Kosten der netzgebundenen Wärmeversorgung deutlich reduziert werden. Aufgrund des sinkenden Gas-Bedarfs würden die Kosten der Gasverteilung deutlich steigen, wenn es nicht gelingt, einzelne Teile des Gas-Versorgungsgebietes schrittweise auch wieder zurück zu bauen. All dies bedarf einer umfassenden, detaillierten räumlich

aufgelösten Kartierung Wärme- und Kälte-relevanter Daten wie Bedarf, erneuerbare Potentiale, Abwärmequellen Infrastruktur sowie möglicher zukünftiger Entwicklungen. Viele Gemeinden und einige Bundesländer haben bereits Schritte in Richtung einer derartigen Kartierung und Planung gesetzt. Diese Aktivitäten sollten kontinuierlich weitergeführt werden und an aktuelle Entwicklungen sowie neue technologische Möglichkeiten angepasst werden.

Eine der empfohlenen Maßnahmen im Bereich der Raumordnungspolitik zielt auf eine Erhöhung der Siedlungsdichte im ländlichen Raum ab²⁴. Einerseits wird dies durch eine Verhinderung einer weiteren Zersiedelung bei Neubauten und der Forderung, dass Neubauten in unmittelbarer Nähe zu bestehenden Siedlungszonen zu errichten sind, erreicht. Ein zusätzlicher Trend hin zu Mehrgeschoßwohnbauten und einer geringeren Anzahl an Wohngebäuden mit bis zu zwei Wohneinheiten wird nur in geringem Ausmaß unterstellt. Der Effekt der höheren Siedlungsdichte drückt sich im Sektor der Wärmeversorgung von Gebäuden durch eine Erhöhung der Anschlussfähigkeit an netzgebundene Energieträger, allen vor Fernwärme, aus.

Darüber hinaus ist zu prüfen, wie eine Reduktion der Nutzflächen pro Person bzw. pro Haushalt bei gleich bleibender Erfüllung der Wohn-Bedürfnisse erzielbar ist.²⁵ Zum Beispiel kann dies durch Wohngemeinschaften, auch im Alter, statt Single-Haushalten erreicht werden.

²⁴ In den Modellrechnungen wirken diese ab dem Jahr 2025.

²⁵ In den Modellrechnungen wurde eine schrittweise Reduktion der Nutzflächen von neu errichteten Gebäuden um 19 % angenommen.

7 Literaturverzeichnis

- Austrian Energy Agency (2017). Der aktuelle Heizkostenvergleich (Marktpreise: November 2017). Verfügbar unter: <https://www.energyagency.at/fakten-service/heizkosten.html>. Zugriff am November 2017.
- Benke, G., Amann, C., Amann, S. (2015). Expertise zum Einsatz von Luftwärmepumpen in Österreich. Endbericht. e7 Energie Markt Analyse GmbH, Wien.
- Biermayr, P., Götzl, G., Fuchsluger, M., Hoyer, S., Weilbold, J., Brüstle, A.K., Stickler, G. (2013). GEOSOL - Erfolgsfaktoren für solare Mikrowärmenetze mit saisonaler geothermischer Wärmespeicherung. Endbericht. Technische Universität Wien, Energy Economics Group und Geologische Bundesanstalt.
- Biermayr, P. et al. (2016): Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2015; Im Auftrag von: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2016.
- Cerveny, M., Sturm, T. (2011). Vollkostenvergleich von Heizsystemen für Einfamilienhäuser. Im Auftrag der Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, Wien.
- e-control, (2008). Erdgasleitungen und Erdgaslagerstätten in Österreich. e-control, Verfügbar unter: <https://preview.tinyurl.com/yc2sjme6>
- Energieinstitut Vorarlberg (2017). Heizrechner. Verfügbar unter: <https://www.energieinstitut.at/tools/HeizrechnerV4/>. Zugriff am Oktober 2017.
- European Union (2016). EU Reference Scenario – energy, transport and GHG emissions trends to 2050. Luxembourg.
- Fritz, S. (2016). Economic assessment of the long-term development of buildings' heat demand and grid-bound supply. A case study for Vienna. Technische Universität Wien, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Wien.
- Gaehmi, S. (2013). Potential analysis of Residential Demand Response using GridLAB-D. IECON, Wien.
- Gerhardt et. al. (2017). Wärmewende 2030, Agora Energiewende. <https://preview.tinyurl.com/yacp3jao>.
- Haas R., Resch G., Burgholzer B., Totschnig G., Lettner G., Auer H., Geipel J., (2017). Stromzukunft Österreich 2030 - Analyse der Erfordernisse und Konsequenzen eines ambitionierten Ausbaus erneuerbarer Energien. Technische Universität Wien, Energy Economics Group, Wien.
- Hartl M., Biermayr P., Schneeberger A., Schöfmann (2016). Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 8/2016, Wien.
- Hartner, M., Permoser, A. (2017) .Through the valley: The impact of PV penetration levels on price volatility and resulting revenues for storage plants. Renewable Energy. Zugegriffen 16. September 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.036>

- Henning, H.-M, et al. (2012). Erarbeitung einer Integrierten Wärme- und Kältestrategie. Im Auftrag des deutschen Umweltministeriums.
- Hiebl, J., Stefan Reisenhofer, Ingeborg Auer, Reinhard Böhm, Wolfgang Schöner - Johann Hiebl u. a. (2010). Multi-methodical realisation of Austrian climate maps for 1971–2000. In: Advances in Science & Research. Nr. 6, 2010, S. 19–26, doi:10.5194/asr-6-19-2011
- Institut für Wärme und Oeltechnik (2017). Energieträger im Raumwärmemarkt in Österreich: Zahlen, Daten, Fakten. Verfügbar unter: <https://preview.tinyurl.com/y9uwy7ox>
- Krutzler, T., Wiesenberger, H., Heller, C., Gössl, M., Stranner, G., Storch, A., Heinfellner, H., Winter, R., Kellner, M., Schindler, I. (2016). Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050 (No. REP-0576). Umweltbundesamt, Wien.
- Miara, M., Danny, G., Kramer, T., Oltersdorf, T., Wapler, J. (2011). Wärmepumpen Effizienz. Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb. Endbericht. Fraunhofer ISE. Freiburg.
- Moser, S., Elbe, C., Schmutzner, E., Frank, F., Muggenhumer, G. (2015). LoadShift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur Potenzialanalyse für Smart Grids – Lastverschiebung in Haushalten Berichte aus Energie- und Umweltforschung 7g/2015, Wien
- Müller et al. (2010). Heizen 2050, Systeme zur Wärmebereitstellung und Raumklimatisierung im österreichischen Gebäudebestand: Technologische Anforderungen bis zum Jahr 2050; Klima und Energiefonds, Energie der Zukunft, Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 814008, Dezember 2010.
- Müller, A., Büchele, R., Kranzl, L., Totschnig, G., Mauthner, F., Heimrath, R., Halmdienst, C. (2014). Solarenergie und Wärmenetze: Optionen und Barrieren in einer langfristigen, integrativen Sichtweise. Endbericht des Projekts Solargrids.
- Müller, A. (2015). Energy Demand Assessment for Space Conditioning and Domestic Hot Water: A Case Study for the Austrian Building Stock (PhD-Thesis). Technische Universität Wien, Wien.
- Rab, Niklaus (2017), Absicherung von langfristigen Preisrisiken der Fernwärmegestehung durch Großwärmepumpen <https://preview.tinyurl.com/ydf8dglh>
- Schlader, W., Bischof, D., (2016). Monitoring Luft-Wärmepumpen in Vorarlberg, Endbericht, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn.
- Stuible, A. et.al. (2014). Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm für den Zeitraum 2012 bis 2014). Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Stuttgart.
- Tichler, R. (2017). Dekarbonisierung des Raumwärmemarktes mit grünem Gas, gehalten auf der 20. Österreichischer Biomassetag: Sektorkopplung und Flexibilisierung, Windischgarsten, 14-Nov-2017.

Totschnig Gerhard, Richard Büchele, Sara Fritz, Marcus Hummel, Lukas Kranzl, Andreas Müller (2017). P2H-Pot - Potentiale, Wirtschaftlichkeit und Systemlösungen für Power-to-Heat, Research project FFG;
<https://preview.tinyurl.com/yafnqphj>

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.	Anteil jährlich installierter Leistung an Heiz- und Warmwassersystemen in Österreich bis 2050	1
Abbildung 2.	Entwicklung der beheizten Brutto-Grundflächen im Wärmewende-Szenario	2
Abbildung 3.	Jährliche Reduktion des österr. Nutzenergiebedarfs zur Raumwärmebereitstellung (Heizwärmebedarf, HWB) im Wärmewende-Szenario und im Referenzszenario	3
Abbildung 4.	Entwicklung des Endenergieeinsatzes im Wärmewende-Szenario	4
Abbildung 5.	In den Berechnungen verwendeter Zusammenhang zwischen der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen und der durchschnittlichen Vorlauftemperatur des Wärmeverteilsystems	5
Abbildung 6.	Strombedarf für die Wärmebereitstellung im Wärmewende-Szenario für die Jahre 2015, 2030 und 2050	6
Abbildung 7.	Investitionen in Bestandsgebäude	7
Abbildung 8.	Jährliche Differenzinvestitionen in Wärmebereitstellungssysteme im Wärmewende-Szenario gegenüber Referenzszenario.....	8
Abbildung 9.	Jährliche Energiekosten der Heizsysteme im Wärmewende-Szenario	9
Abbildung 10.	Angenommene jährliche Energiekosten der Heizsysteme (Empfehlung der EU Kommission)	9
Abbildung 11.	Differenzkosten zwischen Referenz- und Wärmewende-Szenario für die bis 2050 wirksamen Kosten	10
Abbildung 12.	Mittlere monatliche Lufttemperatur im Jänner in Österreich (Bildquelle: Hiebl et al., 2010)	23
Abbildung 13.	Heizgradtage und Wärmedichte von Österreich. (Hintergrundkarte: Heizgradtage dargestellt in den Farben Rot/Blau, Wärmedichte dargestellt in den Farben Grün/Gelb) .	24
Abbildung 14.	Modellierte Klimazonen: Klimazonen wurden anhand der klimatischen Parameter des Hauptortes jeder Gemeinde bestimmt.....	25
Abbildung 15.	IG-L Sanierungsgebiete in Österreich. (Quelle: Umweltbundesamt, 2013)	26
Abbildung 16.	Berechnet mittelfristige Verfügbarkeit von Erdgas in österreichischen Gemeinden.....	28

Abbildung 17.	Anteil des Wärmebedarfes zur Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung je Gemeinde der in Gebiete mit einer hohen Wärmedichte (>16 GWh/km ² a) liegt.	29
Abbildung 18.	Anteil des Wärmebedarfes zur Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung je Gemeinde der in Gebiete mit einer mittleren Wärmedichte (8-16 GWh/km ² a) liegt.	29
Abbildung 19.	Siedlungs- und Wärmebedarfsstruktur im nordöstlichem Burgenland	30
Abbildung 20.	Anteil des Wärmebedarfes zur Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung je Gemeinde der in Gebiete mit einer niedrigen Wärmedichte (<8 GWh/km ² a) liegt.	31
Abbildung 21.	Siedlungs- und Wärmebedarfsstruktur im östlichen Teil der Steiermark (obere Grafik, östlich von Graz und Leibnitz) und im westlichen Teil von Oberösterreich (untere Grafik, nördlich von Ried im Innkreis und Grieskirchen).	32
Abbildung 22.	Unterstellte Entwicklung der Maßnahmenumsetzung ab Erhalt eines Bescheides zur thermischen Sanierung von Gebäuden.	37
Abbildung 23.	Anzahl der Haushalte nach Energieträger (Statistik Austria) ...	41
Abbildung 24.	Anzahl der Haushalte nach Hauptenergieträger zur Raumwärmebereitstellung (Statistik Austria).	41
Abbildung 25.	Anteil der Haushalte nach Hauptenergieträger zur Raumwärmebereitstellung (Statistik Austria).	42
Abbildung 26.	Statistik der jährlich am österreichischen Wärmemarkt verkauften Heizkesseln und Wärmepumpen.....	43
Abbildung 27.	Gegenüberstellung der historischen Neuinstallationen 2005 bis 2016 und Modellergebnissen im Wärmewende-Szenario von 2017 bis 2030.....	47
Abbildung 28.	Durchschnittliche jährliche Neuinstallationen im Wärmewende-Szenario von 2016 bis 2020.....	48
Abbildung 29.	Kumuliert installierte Nennleistung (linke Grafik) von Wärmeversorgungsanlagen in Neubauten von 2017 bis 2050 und Aufteilung der jährlichen Nennleistung nach Energieträgern in Neubauten.	49
Abbildung 30.	Kumuliert installierte Nennleistung (linke Grafik) von Wärmeversorgungsanlagen in allen Gebäude bis 2050 und Aufteilung der jährlichen Nennleistung nach Energieträgern. ...	50
Abbildung 31.	Entwicklung der Anzahl an Haushalten (Hauptwohnsitze) im Wärmewende-Szenario die mit Heizöl (inkl. Flüssiggas) und	

	Kohle, Erdgas oder Direktstromheizungen (inkl. Infrarotheizungen) beheizt werden.....	51
Abbildung 32.	Entwicklung der Anzahl an Haushalten (Hauptwohnsitze) im Wärmewende-Szenario von einem Hauptheizungssystem mit biogenen Brennstoffen befeuert wird.	52
Abbildung 33.	Entwicklung der Anzahl an Haushalten (Hauptwohnsitze) im Wärmewende-Szenario die durch Fernwärme (inkl. Nahwärme) oder Wärmepumpen beheizt werden.	53
Abbildung 34.	Entwicklung der beheizten Brutto-Grundflächen im Wärmewende-Szenario.....	54
Abbildung 35.	Entwicklung des Endenergieeinsatzes im Wärmewende-Szenario	55
Abbildung 36.	Biomethanertragspotentiale 2030 in Österreich. (Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz).....	56
Abbildung 37.	Gegenüberstellung der Biomethanpotentialen aus Reststoffen und Methanbedarf zur Raumwärme und Warmwasserversorgung in österreichischen Gebäude im Wärmewende-Szenario in 2050.	57
Abbildung 38.	Entwicklung des erneuerbaren und fossilen Primärenergieeinsatzes (links) und der direkten und indirekten CO ₂ -Emissionen (rechts) im Wärmewende-Szenario unter der Annahme konstanter Primäre- und CO ₂ -Emissionsfaktoren gemäß OIB Richtlinie 330.6-009/15. Die indirekten Emissionen und Primärenergieeinsätze beziehen sich auf die gesamten Vorketten der Energiebereitstellung und beinhalten daher auch Emissionen und Primärenergieeinsätze die nicht in die Grenzen der österreichischen Emissionsinventur fallen. Die Farben in der linken Grafik stehen für die jeweiligen Energieträger. Die vollen Flächen zeigen den fossilen Primärenergieeinsatz während die schraffierten Flächen den erneuerbaren Primärenergieeinsatz widerspiegeln und beinhalten unter anderem auch den erneuerbaren Anteil von Strom- und Fernwärme. In der rechten Grafik zeigen die schraffierten Flächen indirekte Emissionen, die vollen Flächen die direkten Emissionen der Wärmebereitstellung inklusive der Emissionen der Fernwärme und der Stromerzeugung zur Wärmebereitstellung.....	58
Abbildung 39.	Fernwärmeaufbringung in 2010 und Aufbringung in 2050 in zwei Klimaschutzszenarien nach Energieträgern.....	59
Abbildung 40.	Entwicklung des erneuerbaren und fossilen Primärenergieeinsatzes unter Berücksichtigung der Änderungen des Energiemixes in der Fernwärme und Stromerzeugung sowie	

dem Ersatz von Erdgas im Gebäudesektor durch ein CO₂-neutrales Biomethan-Wasserstoff Gasmisch. Bei dieser Darstellung ist zu beachten, dass Energiebeiträge, die aus Vor-Ort erneuerbaren Energiequellen (Solarthermie, PV und Umgebungswärme am Gebäudestandort) nicht in die Bilanz eingehen. Die Farben in der Grafik stehen für die jeweiligen Energieträger. Die vollen Flächen stehen für fossilen Primärenergieeinsatz während die schraffierten Flächen den erneuerbaren Primärenergieeinsatz widerspiegeln und beinhalten unter anderem auch den erneuerbaren Anteil von Strom- und Fernwärme.61

Abbildung 41.	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen unter Berücksichtigung der Änderungen des Energiemixes in der Fernwärme- und Stromerzeugung sowie dem Ersatz von Erdgas im Gebäudesektor durch ein CO ₂ -neutrales Biomethan-Wasserstoff Gasmisch. Die schraffierten Flächen zeigen indirekte Emissionen, die vollen Flächen die direkten Emissionen der Wärmebereitstellung inklusive der Emissionen der Fernwärme und der Stromerzeugung zur Wärmebereitstellung.....62
Abbildung 42.	Entwicklung des Endenergieeinsatzes für Raumwärme und Warmwasserbereitstellung nach Primärenergiequellen.63
Abbildung 43.	Entwicklung der erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Anteile am Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitstellung im Wärmewende-Szenario.....65
Abbildung 44.	Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern im Burgenland66
Abbildung 45.	Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 im Burgenland67
Abbildung 46.	Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Kärnten68
Abbildung 47.	Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Kärnten68
Abbildung 48.	Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Niederösterreich69
Abbildung 49.	Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Niederösterreich70
Abbildung 50.	Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Oberösterreich.....71

Abbildung 51.	Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Oberösterreich.....	71
Abbildung 52.	Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Salzburg	72
Abbildung 53.	Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Salzburg	73
Abbildung 54.	Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in der Steiermark	74
Abbildung 55.	Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in der Steiermark	74
Abbildung 56.	Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Tirol.....	75
Abbildung 57.	Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Tirol.....	76
Abbildung 58.	Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Vorarlberg.....	77
Abbildung 59.	Wärmewende-Szenario: Endenergieeinsatz nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Vorarlberg.....	77
Abbildung 60.	Beheizte Fläche sowie Endenergieeinsatz nach Energieträgern in Wien	78
Abbildung 61.	Jährliche Reduktion des österreichischen Nutzenergiebedarfs zur Raumwärmebereitstellung (Heizwärmebedarf, HWB) im Wärmewende-Szenario und im Referenzszenario.....	81
Abbildung 62.	Thermische Sanierungsraten im Wärmewende-Szenario und im Referenzszenario.	82
Abbildung 63.	Sanierungsvarianten im Wärmewende-Szenario.	84
Abbildung 64.	Investitionen in Bestandsgebäude	85
Abbildung 65.	Jährliche Investitionen in Wärmebereitstellungssysteme im Wärmewende-Szenario.....	86
Abbildung 66.	Jährliche Differenzinvestitionen in Wärmebereitstellungssysteme im Wärmewende-Szenario gegenüber dem Referenzszenario	86

Abbildung 67.	Energiepreisentwicklung im Wärmewende-Szenario (Entwicklung der Energiepreise nach dem europäischen Referenzszenario, European Union, 2016)	87
Abbildung 68.	Jährliche Energieausgaben (auf Basis von Endverbraucherpreisen) nach Energieträgern im Wärmewende-Szenario	88
Abbildung 69.	Differenz der jährlichen Energieausgaben (auf Basis von Endverbraucherpreisen) nach Energieträgern im Wärmewende-Szenario gegenüber Referenzszenario	89
Abbildung 70.	Differenz der jährliche Energiekosten Energieausgaben (auf Basis von Endverbraucherpreisen) nach Energieträgern im Wärmewende-Szenario gegenüber den derzeitigen Energiekosten	90
Abbildung 71.	Bis zum Jahr 2050 wirksame jährliche Kosten des Wärmewende-Szenarios	91
Abbildung 72.	Differenz der bewerteten jährlichen Energiekosten der Heizsysteme im Wärmewende-Szenario gegenüber dem Referenzszenario	91
Abbildung 73.	Marktentwicklung der Wärmepumpen in Österreich. Quelle: Biermayr et al. 2016	95
Abbildung 74.	Definition der Systemgrenzen	96
Abbildung 75.	In den Berechnungen verwendeter Zusammenhang zwischen der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen und der durchschnittlichen Vorlauftemperatur des Wärmeverteilsystems in Gebäude.....	98
Abbildung 76.	Gemessene durchschnittliche Arbeitszahlen von Wärmepumpen in Abhängigkeit von der Wärmequelle, Temperaturhub und Vorlauftemperatur der Wärmeverteilung (Quelle: Miara et al., 2011)	98
Abbildung 77.	Jahresarbeitszahl von Luftwärmepumpen im österreichischen Gebäudebestand. Gegenüberstellung der vereinfachten Methode mit einer detaillierten Berücksichtigung von Heizgrenze und Standortklima.	99
Abbildung 78.	Jahresarbeitszahl von Luftwärmepumpen für den unsanierten Teil des österreichischen Gebäudebestands mit einem HWB von 150-200 kWh/(m ² a). Die Punkte B, S und N stellen die gewählten JAZ-Werte für die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Kapitel 5.3 für die Referenzgebäude unsanierter Bestand (B), sanierte Gebäude (S) und Neubau (N) dar.	101

Abbildung 79.	Jahresarbeitszahl von Luftwärmepumpen im österreichischen Gebäudebestand. Der Punkt N stellt den gewählten JAZ-Wert für die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Kapitel 5.3 für das Referenzgebäude Neubau dar.	102
Abbildung 80.	Jahresarbeitszahl von Erdkollektor-Wärmepumpen für den unsanierten Teil des österreichischen Gebäudebestands mit einem HWB von 150-200 kWh/(m ² a). Die Punkte B, S und N stellen die gewählten JAZ-Werte für die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Kapitel 5.3 für die Referenzgebäude unsanierter Bestand (B), sanierte Gebäude (S) und Neubau (N) dar.	102
Abbildung 81.	Jahresarbeitszahl von Erdkollektor-Wärmepumpen im österreichischen Gebäudebestand. Der Punkt N stellt den gewählten JAZ-Wert für die Wirtschaftlichkeitsanalyse in Kapitel 5.3 für das Referenzgebäude Neubau dar.	103
Abbildung 82.	Anteile der Energieträger an Raumwärme- und Warmwasserversorgung der Haushalte in Österreich 2015/16. Quelle: Statistik Austria	105
Abbildung 83.	Zusammenhang zwischen Temperatur und Stromnachfrage aktuell in Österreich.....	105
Abbildung 84.	Entwicklung des Strombedarfs nach Technologie für Wärme und Kälte im Wärmewende-Szenario.....	108
Abbildung 85.	Elektrische Lasten zur Wärmebereitstellung im österreichischen Gebäudebestand für eine beispielhafte Winterwoche im Jahr 2015. Oben: Lastgang der einzelnen Technologien (links) und die kumulierte elektrische Gesamtlast (rechts). Unten: kumulierte Lasten getrennt für Raumwärme und Warmwasser.	110
Abbildung 86.	Elektrische Lasten zur Wärmebereitstellung im österreichischen Gebäudebestand für eine beispielhafte Winterwoche im Jahr 2050 basierend auf Ergebnissen des WSzenarios.	111
Abbildung 87.	Strombedarf für die Wärmebereitstellung im Wärmewende-Szenario für die Jahre 2015, 2030 und 2050.	111
Abbildung 88.	Lastverlauf der Stromnachfrage in Österreich im Jahr 2015 und Last aus Power to Heat im Gebäudebestand im Wärmewende-Szenario für die Jahre 2015, 2030 und 2050	112
Abbildung 89.	Entwicklung der elektrischen Last unter Berücksichtigung von Power to Heat und Strom für Klimatisierung im Wärmewende-Szenario bis zum Jahr 2050.....	113

Abbildung 90.	Theoretischer Lastverlauf bei einer Vollversorgung des österreichischen Wärmebedarfs der Gebäude mit Wärmepumpen (Annahme: Wärmebedarf von 80 TWh und JAZ von 3)115
Abbildung 91.	Agora Energiewende Szenarien – Links: Entwicklung des Stromerzeugungsmix sowie Zusammensetzung in Deutschland zur Erreichung von CO ₂ Einsparungen von 85 % bzw. 95 % bis zum Jahr 2050. Rechts: Strombedarf zur Wärmebereitstellung nach Szenarien116
Abbildung 92.	Vergleich der Emissionen zwischen fossilen Heizungssystemen und Luftwärmepumpen in Abhängigkeit von Emissionsfaktoren für Strom und Effizienz des fossilen Heizsystems. Quelle: Benke et.al 2015.....119
Abbildung 93.	Durchschnittliche Tageslast pro Monat durch Power to Heat im Gebäudebestand, durchschnittliche tägliche Maximal- und Minimallast sowie Differenz der Tagesmaxima und –minima im Wärmewende-Szenario für das Jahr 2030.123
Abbildung 94.	Durchschnittliche monatliche Lastfaktoren der elektrischen Wärmebereitstellung – schematische Darstellung126
Abbildung 95.	Bestand alter unsanierter Gebäude in Österreich, dargestellt als gereihter HWB über der beheizten Gebäudefläche in den Kategorien Einfamilienhäusern, kleine und größere Mehrfamilienhäuser sowie Nichtwohngebäuden. „B“ bezeichnet die Referenzgebäude im unsanierten Bestand, „S“ jene für sanierte Gebäude.....130
Abbildung 96.	Gebäudebestand in Österreich, dargestellt als gereihter HWB über der beheizten Gebäudefläche in den Kategorien Einfamilienhäusern, kleine und größere Mehrfamilienhäuser sowie Nichtwohngebäuden. „B“ bezeichnet die Referenzgebäude im unsanierten Bestand, „S“ jene für sanierte Gebäude, „N“ jene im Neubau.130
Abbildung 97.	Bestand alter unsanierter Gebäude in Österreich, dargestellt als gereihter HWB unter Berücksichtigung des Nutzerfaktors über der beheizten Gebäudefläche in den Kategorien Einfamilienhäusern, kleine und größere Mehrfamilienhäuser sowie Nichtwohngebäuden. „B“ bezeichnet die Referenzgebäude im unsanierten Bestand, „S“ jene für sanierte Gebäude. Die Pfeile stellen die Differenz zwischen HWB nach Norm und nach Berücksichtigung des Nutzerfaktors dar.131
Abbildung 98:	Relevanz der Referenzgebäude in Österreich: Anzahl Gebäude und entsprechender Nutzenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser. (APA-Auftragsgrafik)132

Abbildung 99.	Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Heizsysteme über den Betrachtungszeitraum für eine 80m ² Wohneinheit in den Mehrfamilienhaus-Referenzgebäuden. Der graue Balken markiert die Kosten des Systems Erdgas ohne Solarthermie. Fernwärmepreise und –tarifstrukturen variieren zwischen verschiedenen Systemen beträchtlich; es wurde hier ein Mittel mehrerer großer städtischer Fernwärmenetze betrachtet.	136
Abbildung 100.	Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Heizsysteme über den Betrachtungszeitraum für die Einfamilienhaus-Referenzgebäude. . Der graue Balken markiert die Kosten des Systems Erdgas ohne Solarthermie. Fernwärmepreise und –tarifstrukturen variieren zwischen verschiedenen Systemen beträchtlich; es wurde hier ein Mittel mehrerer großer städtischer Fernwärmenetze betrachtet.	137
Abbildung 101.	Bandbreiten der Wirtschaftlichkeit für die Variation verschiedener Parameter für eine 80 m ² Wohneinheit im Bestand-Mehrfamilienhaus-Referenzgebäude	139
Abbildung 102.	Bandbreiten der Wirtschaftlichkeit für die Variation verschiedener Parameter für eine 80 m ² Wohneinheit im Neubau-Mehrfamilienhaus-Referenzgebäude	140
Abbildung 103.	Bandbreiten der Wirtschaftlichkeit für die Variation verschiedener Parameter für das Referenzgebäude EFH-Bestand	140
Abbildung 104.	Bandbreiten der Wirtschaftlichkeit für die Variation verschiedener Parameter für das Referenzgebäude EFH-Neubau.....	141
Abbildung 105.	Bündel an politischen Instrumenten zur Erreichung des Wärmewende-Szenarios	144
Abbildung 106.	Darstellung der Wärmedichten im Burgenland.....	167
Abbildung 107.	Beheizte Bruttogrundfläche im Burgenland.....	168
Abbildung 108.	Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 im Burgenland.....	169
Abbildung 109.	Darstellung der Wärmedichten in Kärnten	170
Abbildung 110.	Beheizte Bruttogrundfläche in Kärnten.....	171
Abbildung 111.	Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Kärnten	172
Abbildung 112.	Darstellung der Wärmedichten in Niederösterreich.....	173

Abbildung 113.	Beheizte Bruttogrundfläche in Niederösterreich.....	174
Abbildung 114.	Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Niederösterreich.....	175
Abbildung 115.	Darstellung der Wärmedichten in Oberösterreich	176
Abbildung 116.	Beheizte Bruttogrundfläche in Oberösterreich	177
Abbildung 117.	Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Oberösterreich	178
Abbildung 118.	Darstellung der Wärmedichten in Salzburg	179
Abbildung 119.	Beheizte Bruttogrundfläche in Salzburg	180
Abbildung 120.	Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Salzburg	181
Abbildung 121.	Darstellung der Wärmedichten in der Steiermark	182
Abbildung 122.	Beheizte Bruttogrundfläche in der Steiermark.....	183
Abbildung 123.	Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in der Steiermark	184
Abbildung 124.	Darstellung der Wärmedichten in Tirol	185
Abbildung 125.	Beheizte Bruttogrundfläche in Tirol	186
Abbildung 126.	Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Tirol	187
Abbildung 127.	Darstellung der Wärmedichten in Vorarlberg	188
Abbildung 128.	Beheizte Bruttogrundfläche in Vorarlberg	189
Abbildung 129.	Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Vorarlberg	190
Abbildung 130.	Darstellung der Wärmedichten in Wien.....	191
Abbildung 131.	Beheizte Bruttogrundfläche in Wien	192
Abbildung 132.	Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Wien.....	193

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	Grenzwerte für den maximalen Heizwärmebedarf im Wärmewende-Szenario ab welcher eine Sanierungsverpflichtung verfügt wird.	36
Tabelle 2.	Geforderter Anteil an erneuerbaren Energieträgern in Wohn- und Nichtwohngebäuden.....	38
Tabelle 3.	Mengengerüst einer Abschätzung des erforderlichen Kesseltausches im österreichischen (Wohn-)Gebäudebestand.	45
Tabelle 4.	Endenergieträgereinsatz (in TWh) nach Primärenergiequellen im Wärmewende-Szenario.....	63
Tabelle 5.	Brutto-Arbeitsplatzeffekte des Wärmewende-Szenarios.....	93
Tabelle 6.	Anzahl von Heizungssystem in österreichischen Haushalten 2015 (Quelle: Statistik Austria.....)	104
Tabelle 7.	Strombedarf für Raumwärme, Warmwasser und Raumkühlung im Wärmewende-Szenario in GWh _{el} für die Jahre 2015, 2030 und 2050. Quelle: eigene Berechnungen mit Invert/EE-Lab. .	107
Tabelle 8.	Übersicht zu unterschiedlichen Emissionsfaktoren für Wärmepumpen. Quelle: Benke et. al 2015	118
Tabelle 9.	Kennwerte der elektrischen Last für Raumwärme und Warmwasser im Wärmewende-Szenario	122
Tabelle 10.	Monatliche Durchschnittsleistung und durchschnittliche Volllaststunden der elektrischen Wärmebereitstellung im Wärmewende-Szenario.....	125
Tabelle 11.	Charakteristische Kenngrößen für die Referenzgebäude.	132
Tabelle 12.	Input-Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung Mehrfamiliengebäude.....	134
Tabelle 13.	Input-Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung Einfamiliengebäude.....	135
Tabelle 14.	Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Burgenland ..	168
Tabelle 15.	Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Kärnten	171
Tabelle 16.	Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Niederösterreich	174

Tabelle 17.	Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Oberösterreich	177
Tabelle 18.	Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Salzburg	180
Tabelle 19.	Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte – Steiermark....	183
Tabelle 20.	Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Tirol.....	186
Tabelle 21.	Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Vorarlberg	189
Tabelle 22.	Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Wien	192

A. Anhang – Bundesländer-Detailergebnisse

A.1.1 Burgenland

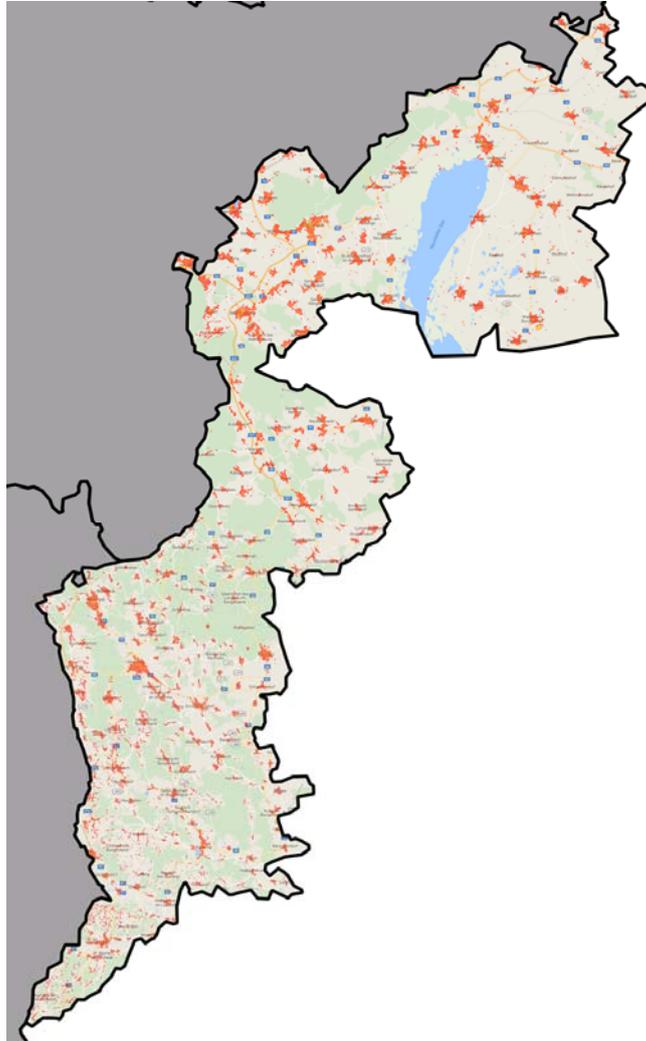


Abbildung 106. Darstellung der Wärmedichten im Burgenland

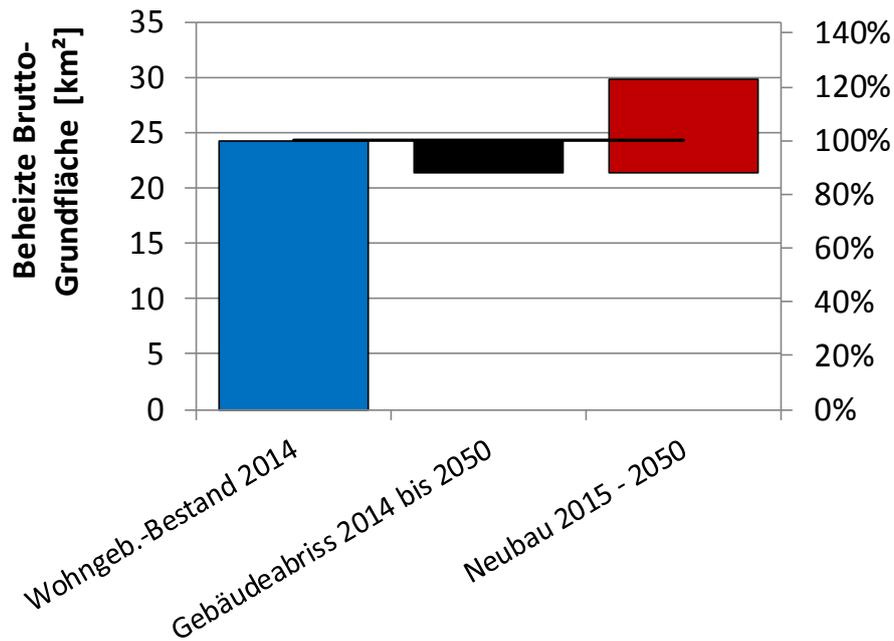


Abbildung 107. Beheizte Bruttogrundfläche im Burgenland

Tabelle 14. Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Burgenland

	Regionen nach Wärmedichte		
	> 16 GWh/km²	8 - 16 GWh/km²	< 8 GWh/km²
Anteil Energiebedarf nach Wärmedichte der Region	18%	34%	48%
Anteil der Bevölkerung in IG-L Zonen nach Wärmedichte der Region	100%	100%	100%
Modellierte Anzahl an Klimazonen	1	2	3
Abgeschätzte Verfügbarkeit von Energieträgern			
Standardannahmen			
Solarthermie / PV	60%	65%	75%
Heizöl, Kohle, Strom direkt	100%	100%	100%
Stückholz, kommerziell	20%	60%	80%
Hackgut, kommerziell	20%	60%	80%
Stückholz, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Hackgut, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Pellets	70%	80%	90%
Wärmepumpe, Sole/Wasser	20%	50%	80%
Wärmepumpe, Außenluft /Wasser	80%	80%	80%
Regionsspezifische Annahmen			
Fernwärme, Urban	39%	10%	0%
Fernwärme, Biomasse-Nahwärme	0%	10%	4%
Erdgas	100%	75%	40%

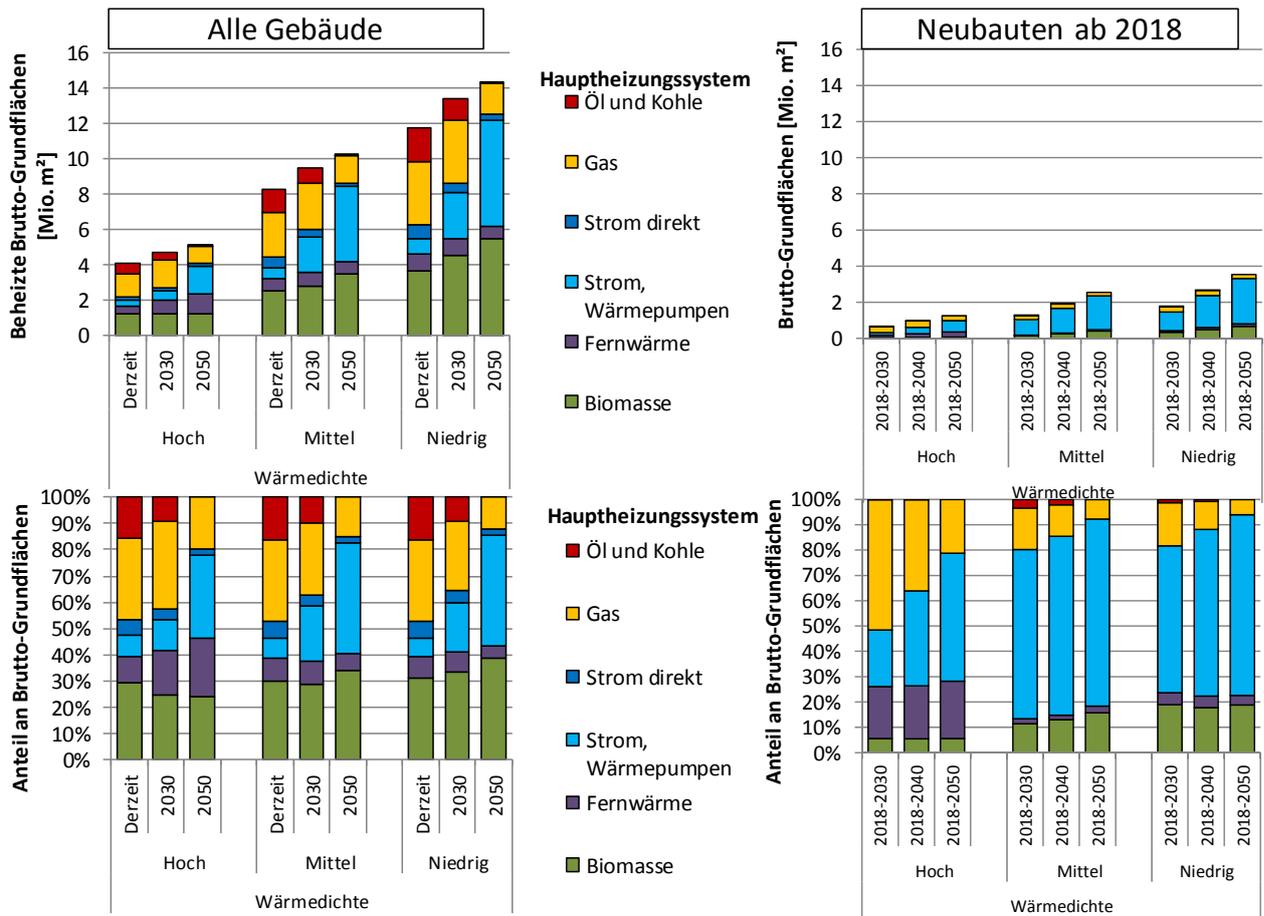


Abbildung 108. Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 im Burgenland

A.1.2 Kärnten

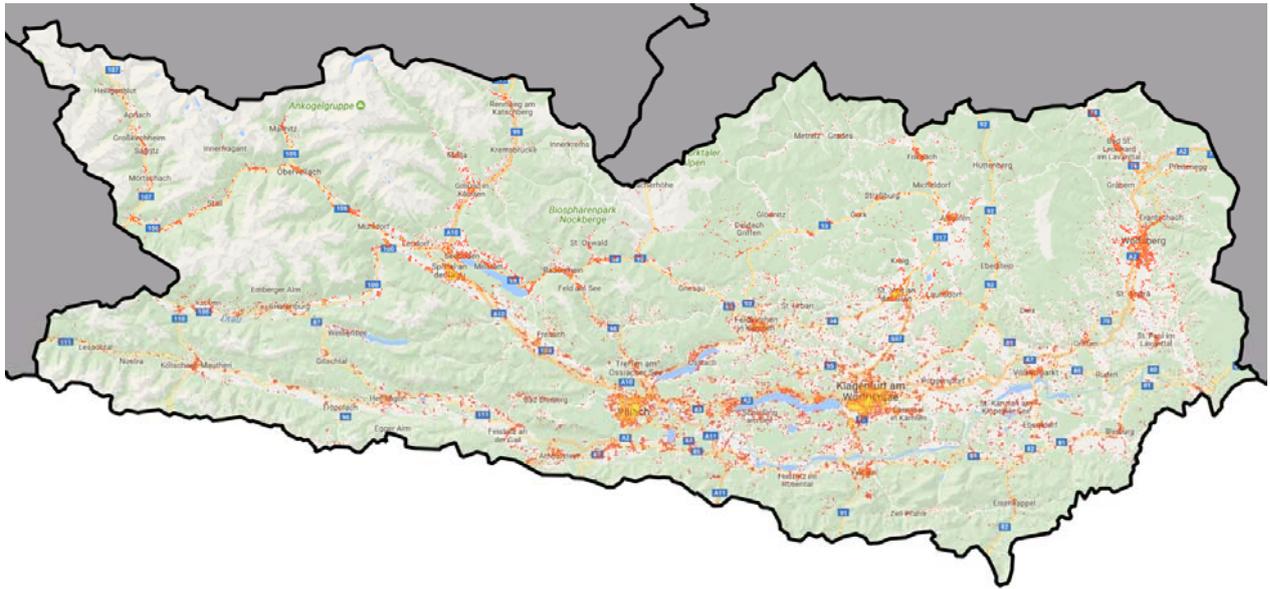


Abbildung 109. Darstellung der Wärmedichten in Kärnten

Tabelle 15. Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Kärnten

	Regionen nach Wärmedichte		
	> 16 GWh/km ²	8 - 16 GWh/km ²	< 8 GWh/km ²
Anteil Energiebedarf nach Wärmedichte der Region	30%	17%	54%
Anteil der Bevölkerung in IG-L Zonen nach Wärmedichte der Region	49%	15%	4%
Modellierte Anzahl an Klimazonen	1	2	3
Abgeschätzte Verfügbarkeit von Energieträgern			
Standardannahmen			
Solarthermie / PV	60%	65%	75%
Heizöl, Kohle, Strom direkt	100%	100%	100%
Stückholz, kommerziell	20%	60%	80%
Hackgut, kommerziell	20%	60%	80%
Stückholz, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Hackgut, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Pellets	70%	80%	90%
Wärmepumpe, Sole/Wasser	20%	50%	80%
Wärmepumpe, Außenluft /Wasser	80%	80%	80%
Regionsspezifische Annahmen			
Fernwärme, Urban	85%	25%	0%
Fernwärme, Biomasse-Nahwärme	0%	25%	5%
Erdgas	86%	44%	16%

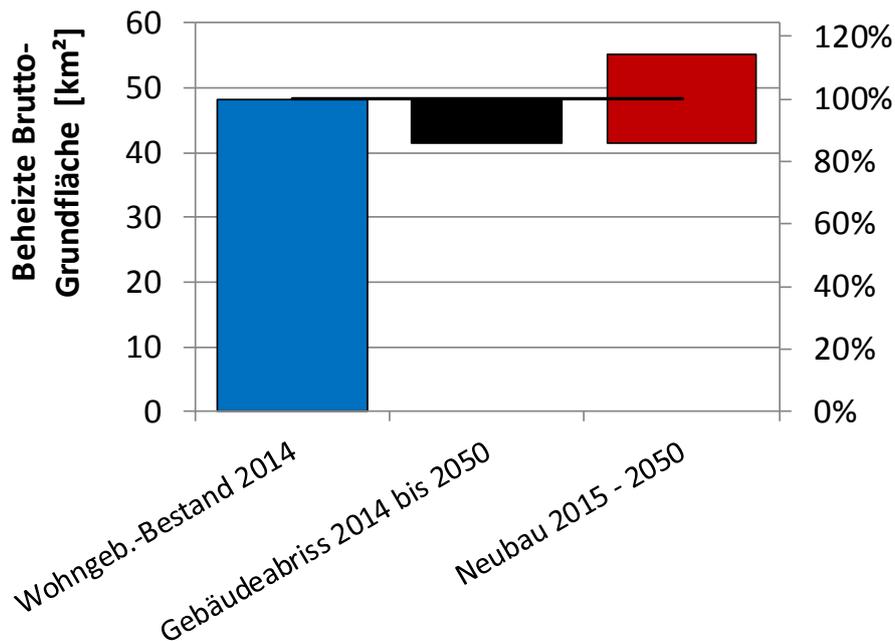


Abbildung 110. Beheizte Bruttogrundfläche in Kärnten

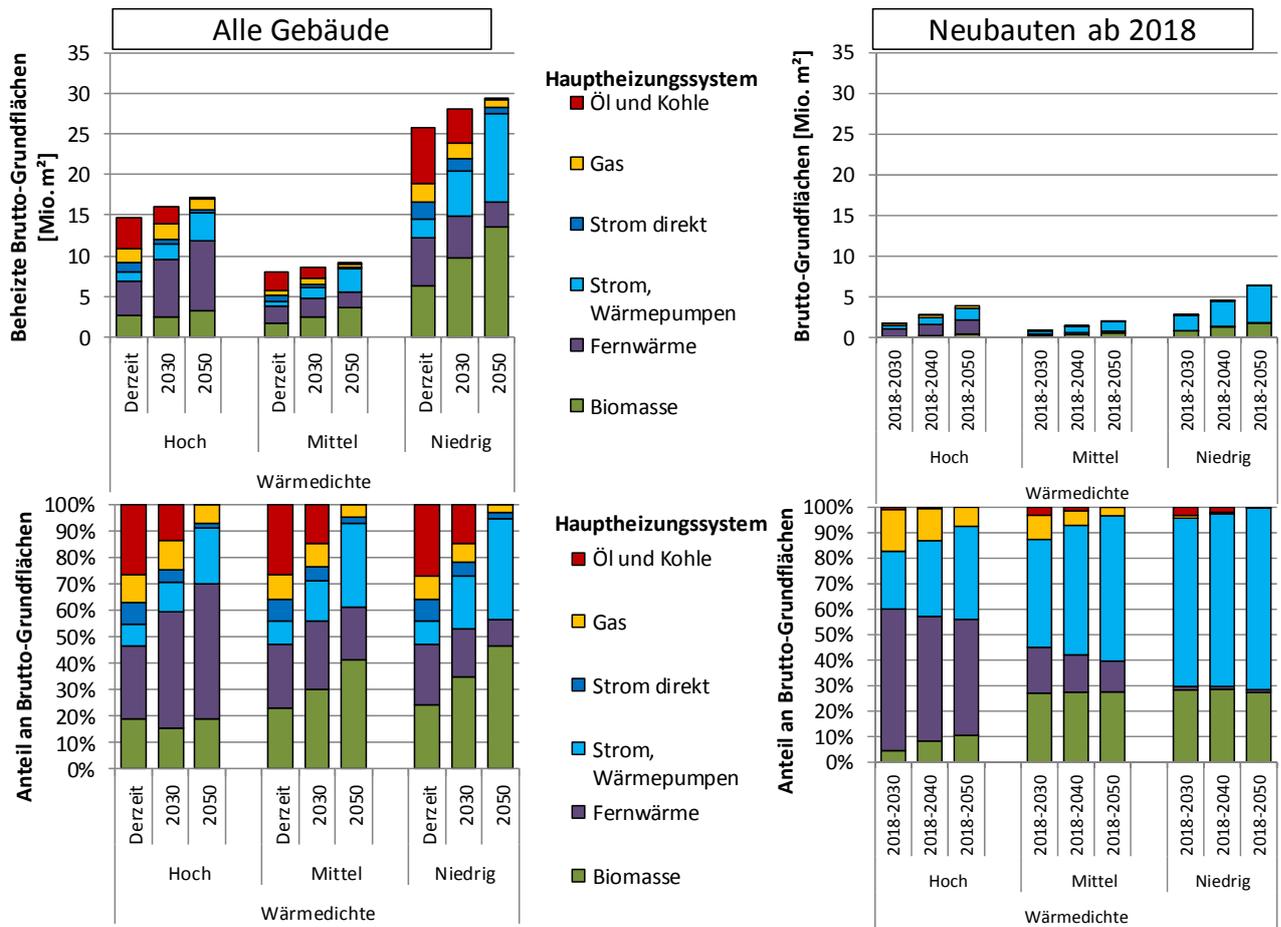


Abbildung 111. Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Kärnten

A.1.3 Niederösterreich

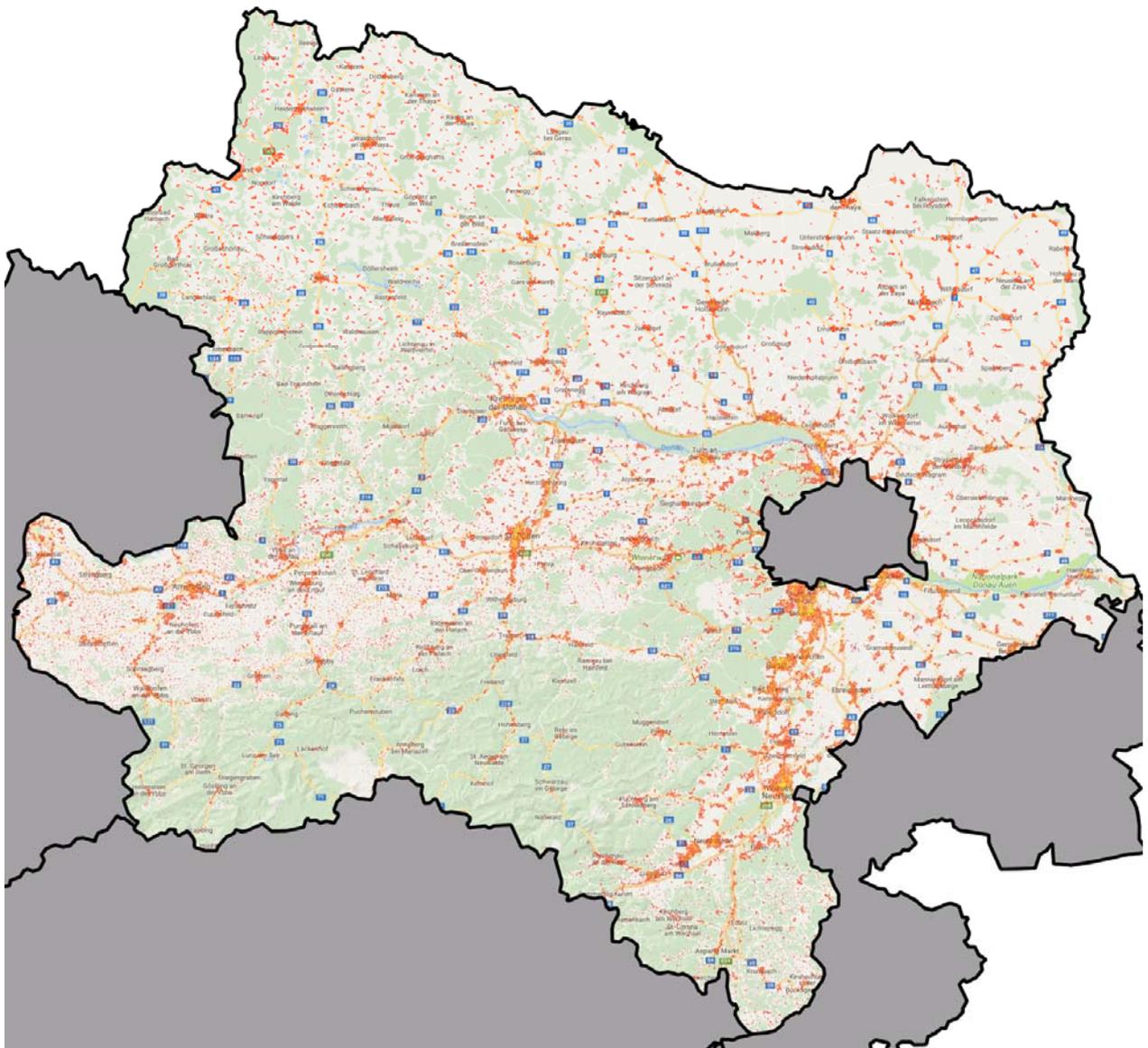


Abbildung 112. Darstellung der Wärmedichten in Niederösterreich

Tabelle 16. Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Niederösterreich

	Regionen nach Wärmedichte		
	> 16 GWh/km ²	8 - 16 GWh/km ²	< 8 GWh/km ²
Anteil Energiebedarf nach Wärmedichte der Region	30%	25%	45%
Anteil der Bevölkerung in IG-L Zonen nach Wärmedichte der Region	87%	65%	39%
Modellierte Anzahl an Klimazonen	4	4	6
Abgeschätzte Verfügbarkeit von Energieträgern			
Standardannahmen			
Solarthermie / PV	60%	65%	75%
Heizöl, Kohle, Strom direkt	100%	100%	100%
Stückholz, kommerziell	20%	60%	80%
Hackgut, kommerziell	20%	60%	80%
Stückholz, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Hackgut, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Pellets	70%	80%	90%
Wärmepumpe, Sole/Wasser	20%	50%	80%
Wärmepumpe, Außenluft /Wasser	80%	80%	80%
Regionsspezifische Annahmen			
Fernwärme, Urban	80%	12%	0%
Fernwärme, Biomasse-Nahwärme	0%	12%	2%
Erdgas	94%	69%	33%

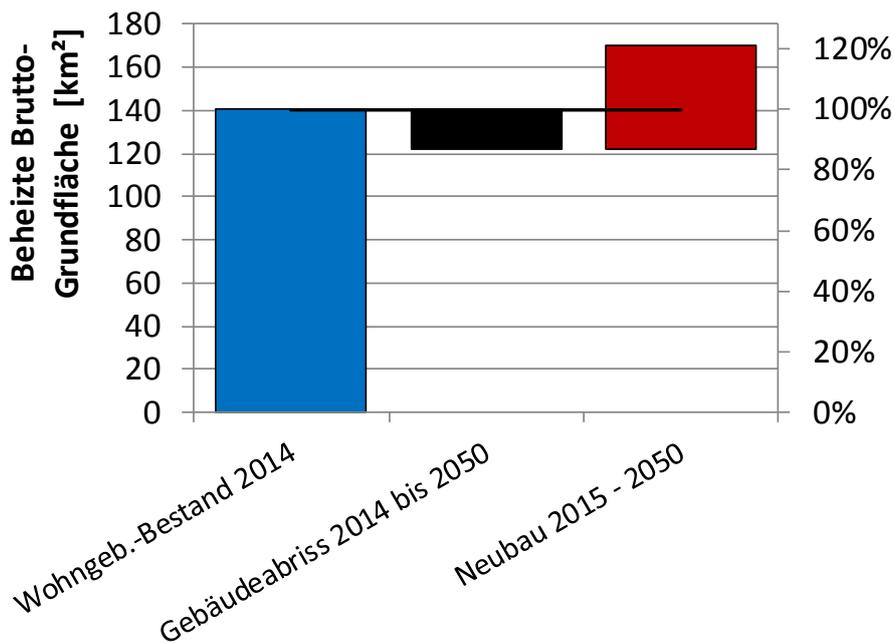


Abbildung 113. Beheizte Bruttogrundfläche in Niederösterreich

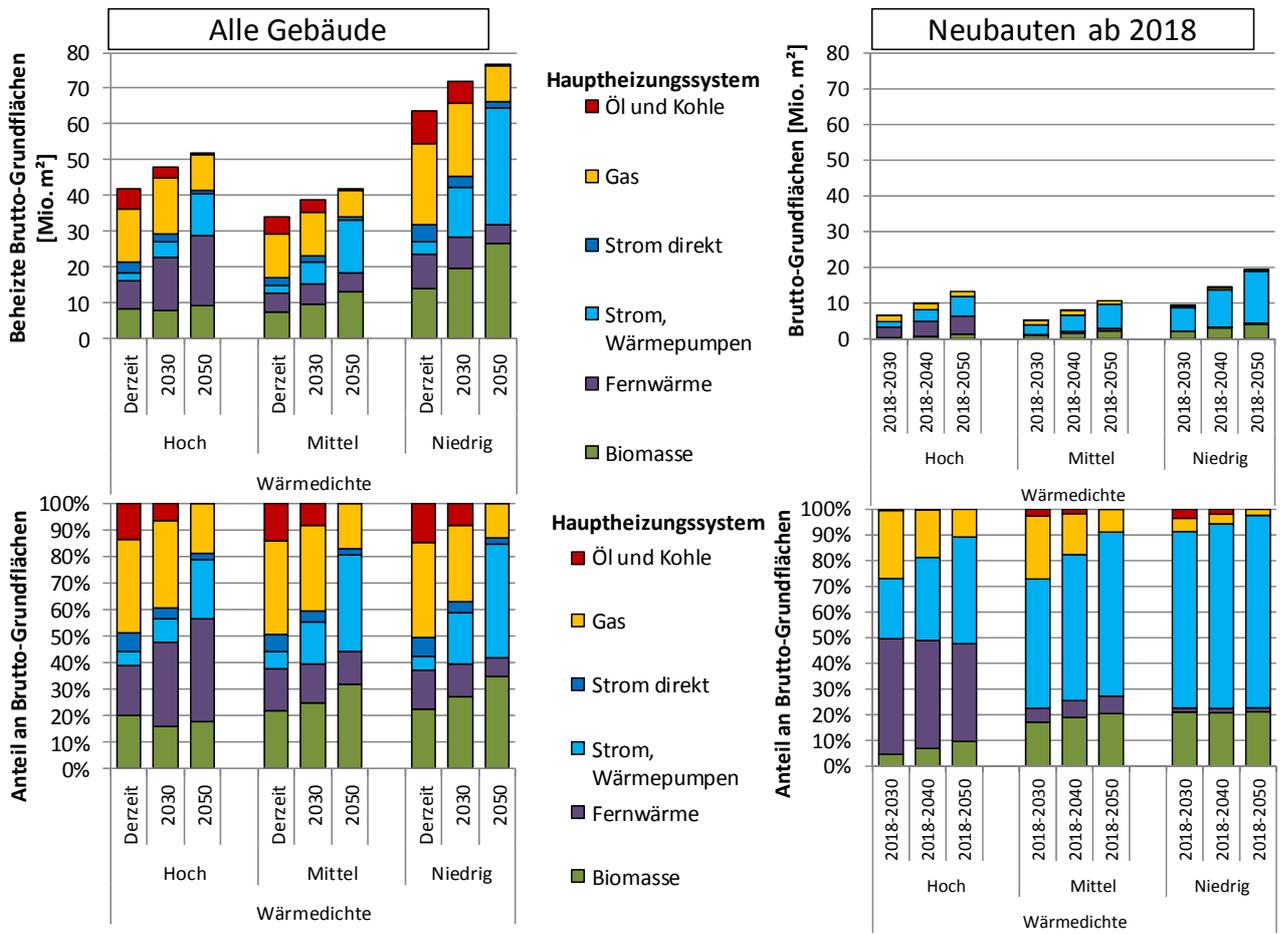


Abbildung 114. Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Niederösterreich

A.1.4 Oberösterreich

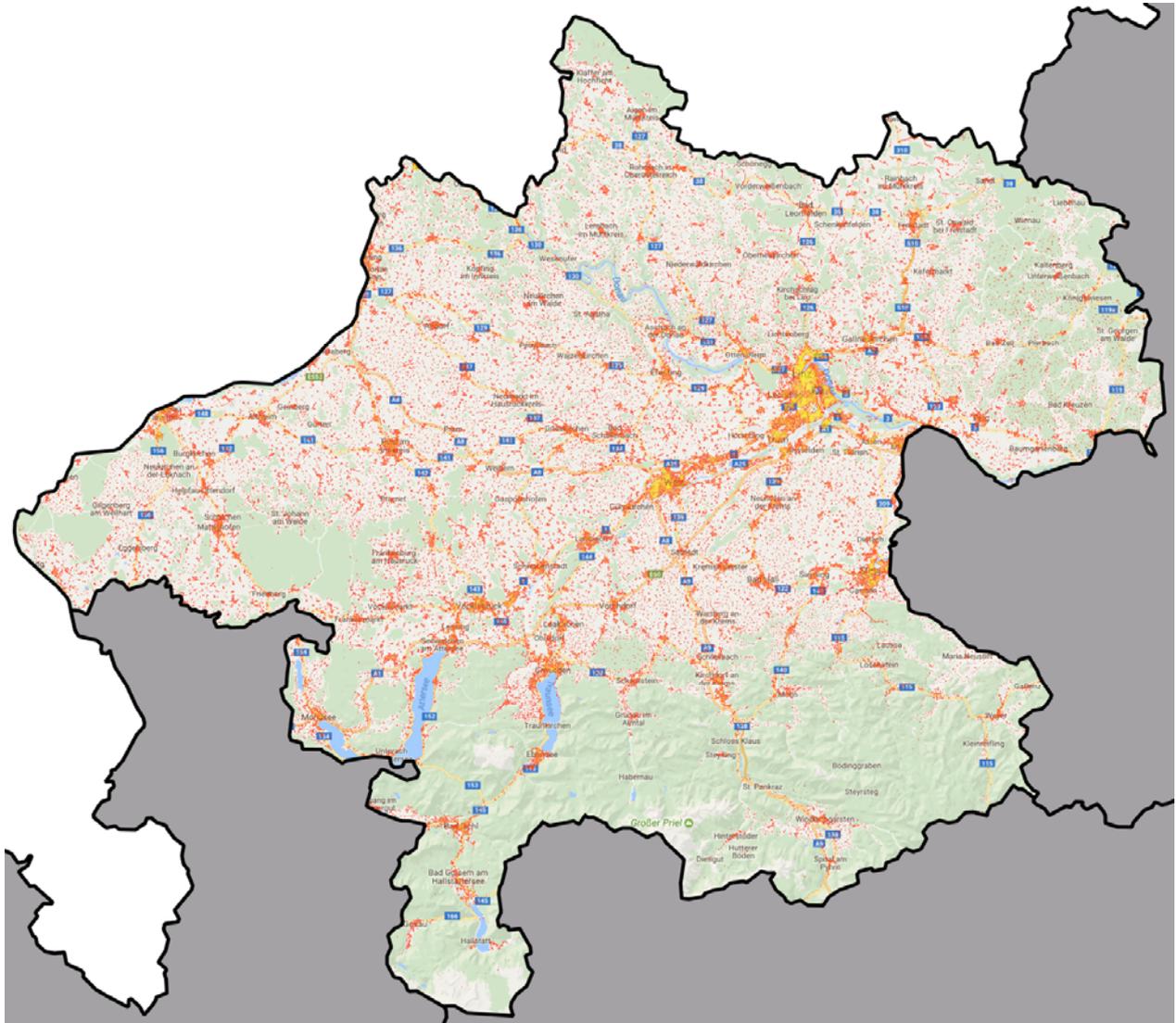


Abbildung 115. Darstellung der Wärmedichten in Oberösterreich

Tabelle 17. Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Oberösterreich

	Regionen nach Wärmedichte		
	> 16 GWh/km ²	8 - 16 GWh/km ²	< 8 GWh/km ²
Anteil Energiebedarf nach Wärmedichte der Region	34%	16%	50%
Anteil der Bevölkerung in IG-L Zonen nach Wärmedichte der Region	41%	4%	1%
Modellierte Anzahl an Klimazonen	3	3	4
Abgeschätzte Verfügbarkeit von Energieträgern			
Standardannahmen			
Solarthermie / PV	60%	65%	75%
Heizöl, Kohle, Strom direkt	100%	100%	100%
Stückholz, kommerziell	20%	60%	80%
Hackgut, kommerziell	20%	60%	80%
Stückholz, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Hackgut, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Pellets	70%	80%	90%
Wärmepumpe, Sole/Wasser	20%	50%	80%
Wärmepumpe, Außenluft /Wasser	80%	80%	80%
Regionsspezifische Annahmen			
Fernwärme, Urban	85%	25%	0%
Fernwärme, Biomasse-Nahwärme	0%	25%	5%
Erdgas	94%	71%	30%

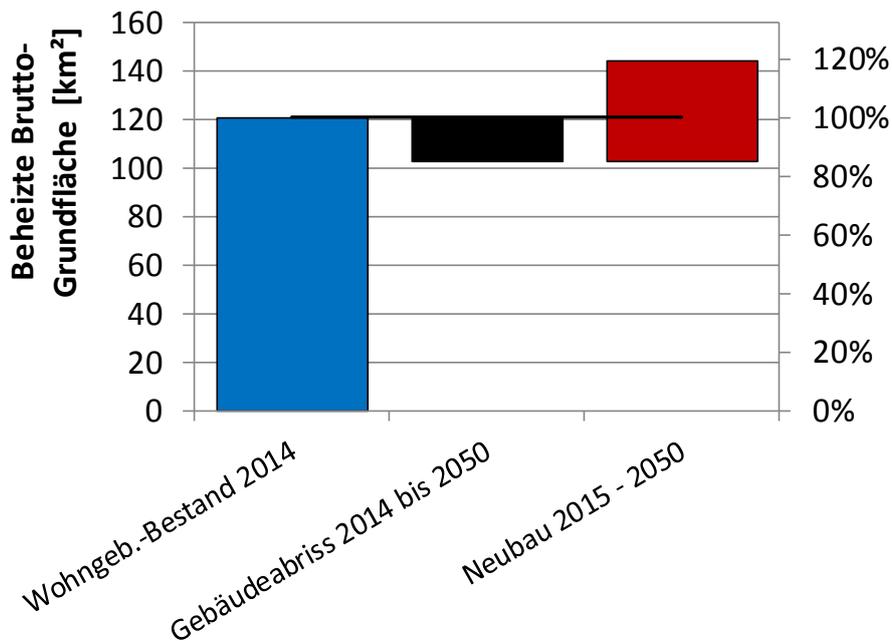


Abbildung 116. Beheizte Bruttogrundfläche in Oberösterreich

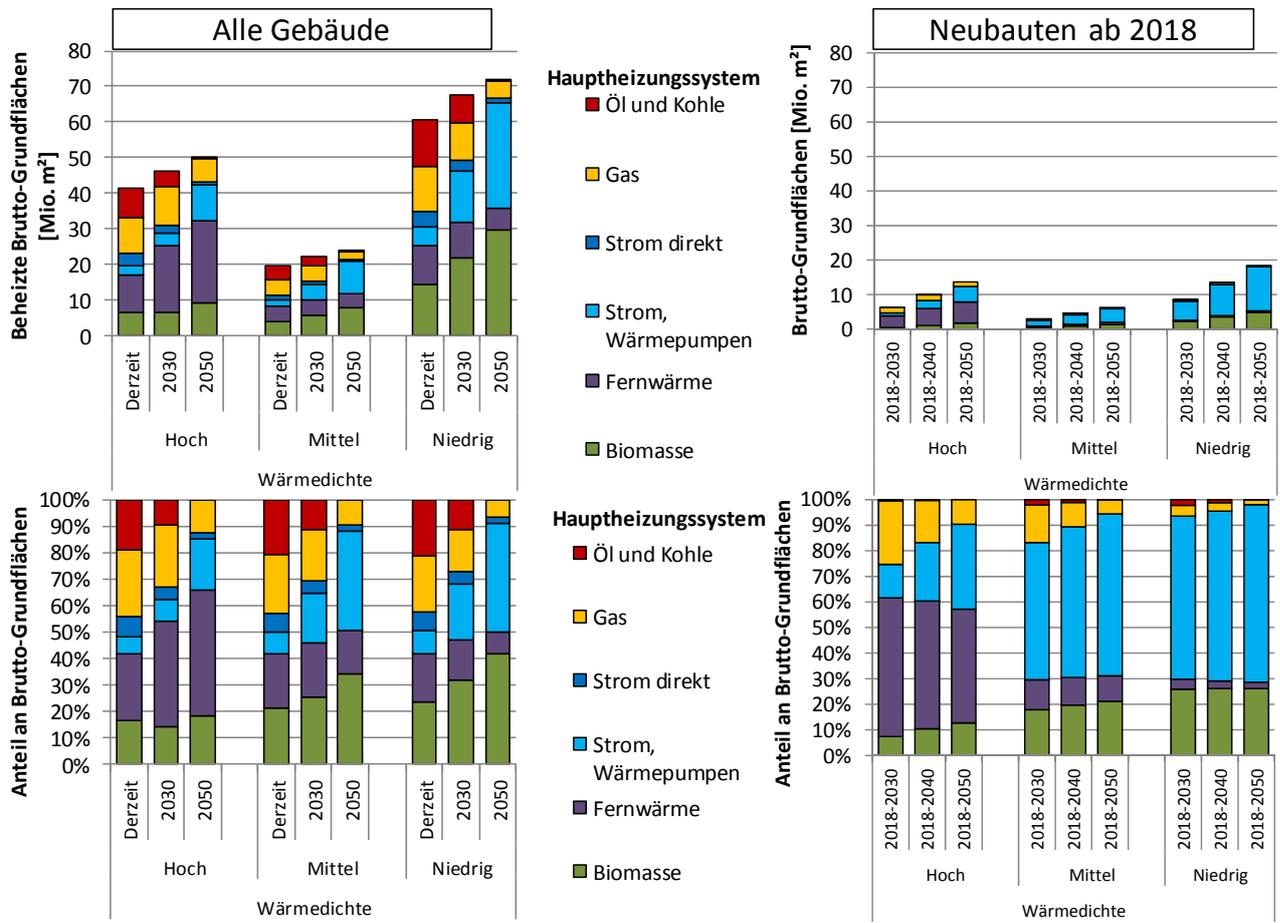


Abbildung 117. Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Oberösterreich

A.1.5 Salzburg

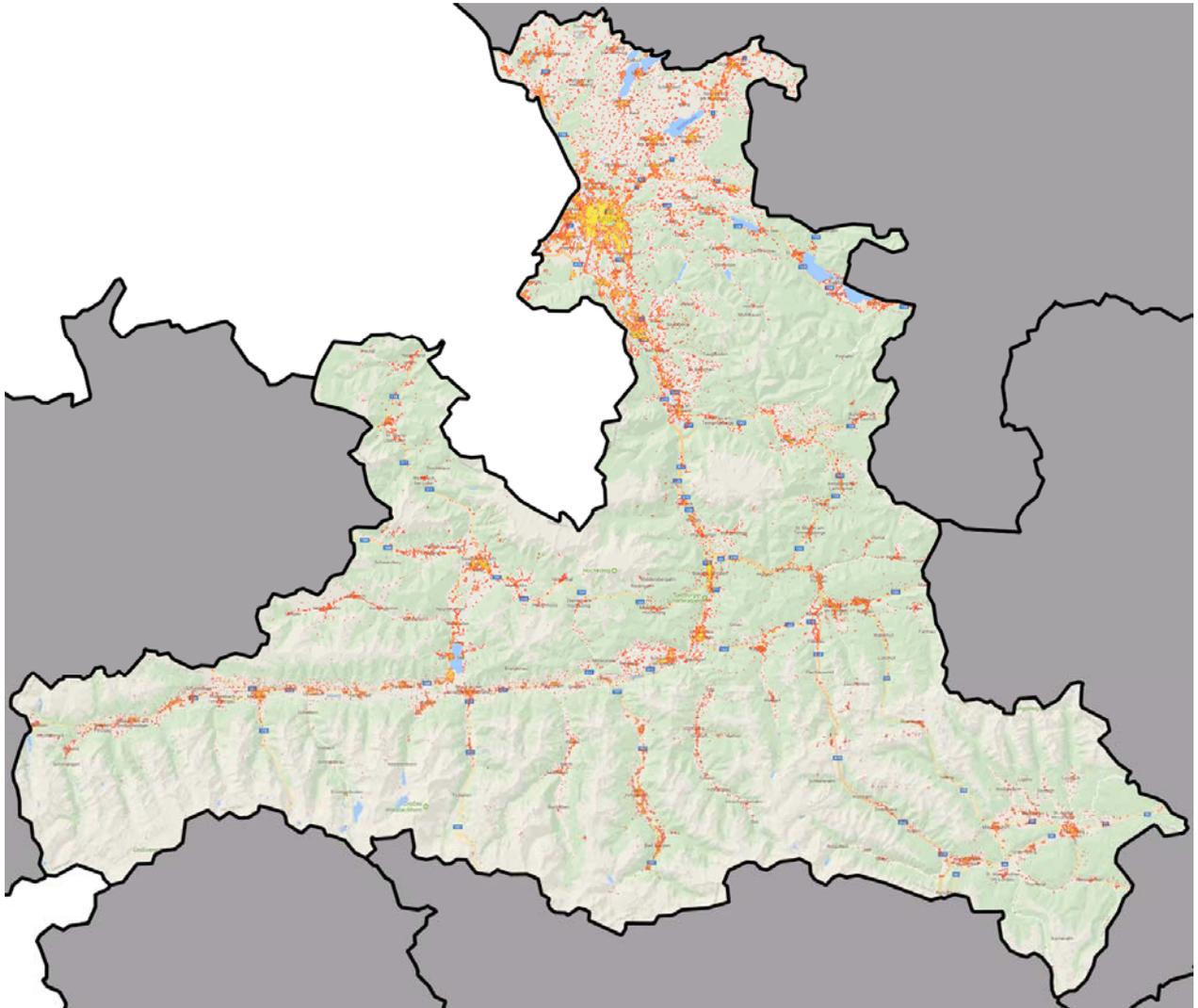


Abbildung 118. Darstellung der Wärmedichten in Salzburg

Tabelle 18. Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Salzburg

	Regionen nach Wärmedichte		
	> 16 GWh/km ²	8 - 16 GWh/km ²	< 8 GWh/km ²
Anteil Energiebedarf nach Wärmedichte der Region	43%	20%	37%
Anteil der Bevölkerung in IG-L-Zonen nach Wärmedichte der Region	0%	0%	0%
Modellierte Anzahl an Klimazonen	2	3	3
Abgeschätzte Verfügbarkeit von Energieträgern			
Standardannahmen			
Solarthermie / PV	60%	65%	75%
Heizöl, Kohle, Strom direkt	100%	100%	100%
Stückholz, kommerziell	20%	60%	80%
Hackgut, kommerziell	20%	60%	80%
Stückholz, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Hackgut, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Pellets	70%	80%	90%
Wärmepumpe, Sole/Wasser	20%	50%	80%
Wärmepumpe, Außenluft /Wasser	80%	80%	80%
Regionsspezifische Annahmen			
Fernwärme, Urban	81%	13%	0%
Fernwärme, Biomasse-Nahwärme	0%	13%	5%
Erdgas	75%	19%	13%

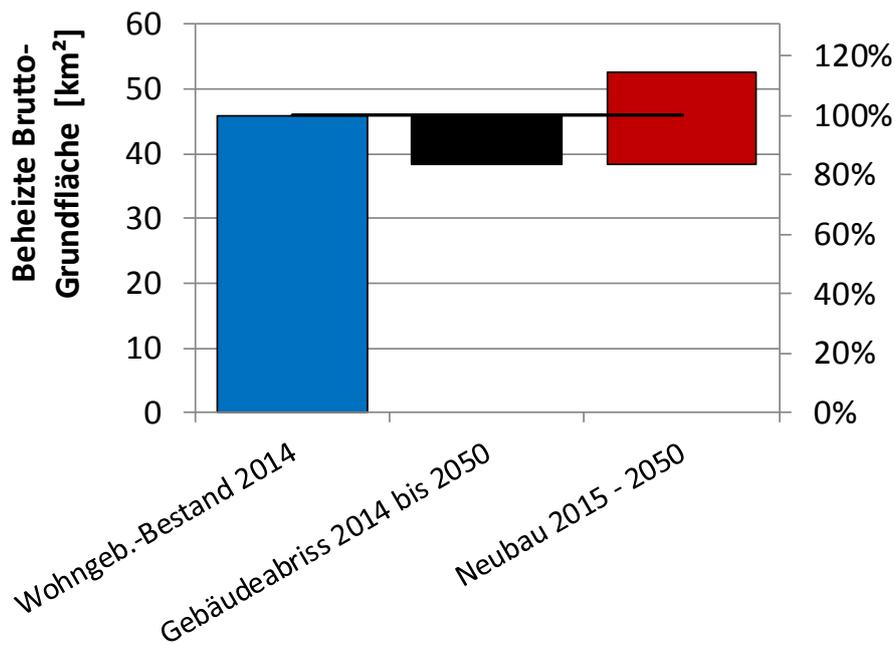


Abbildung 119. Beheizte Bruttogrundfläche in Salzburg

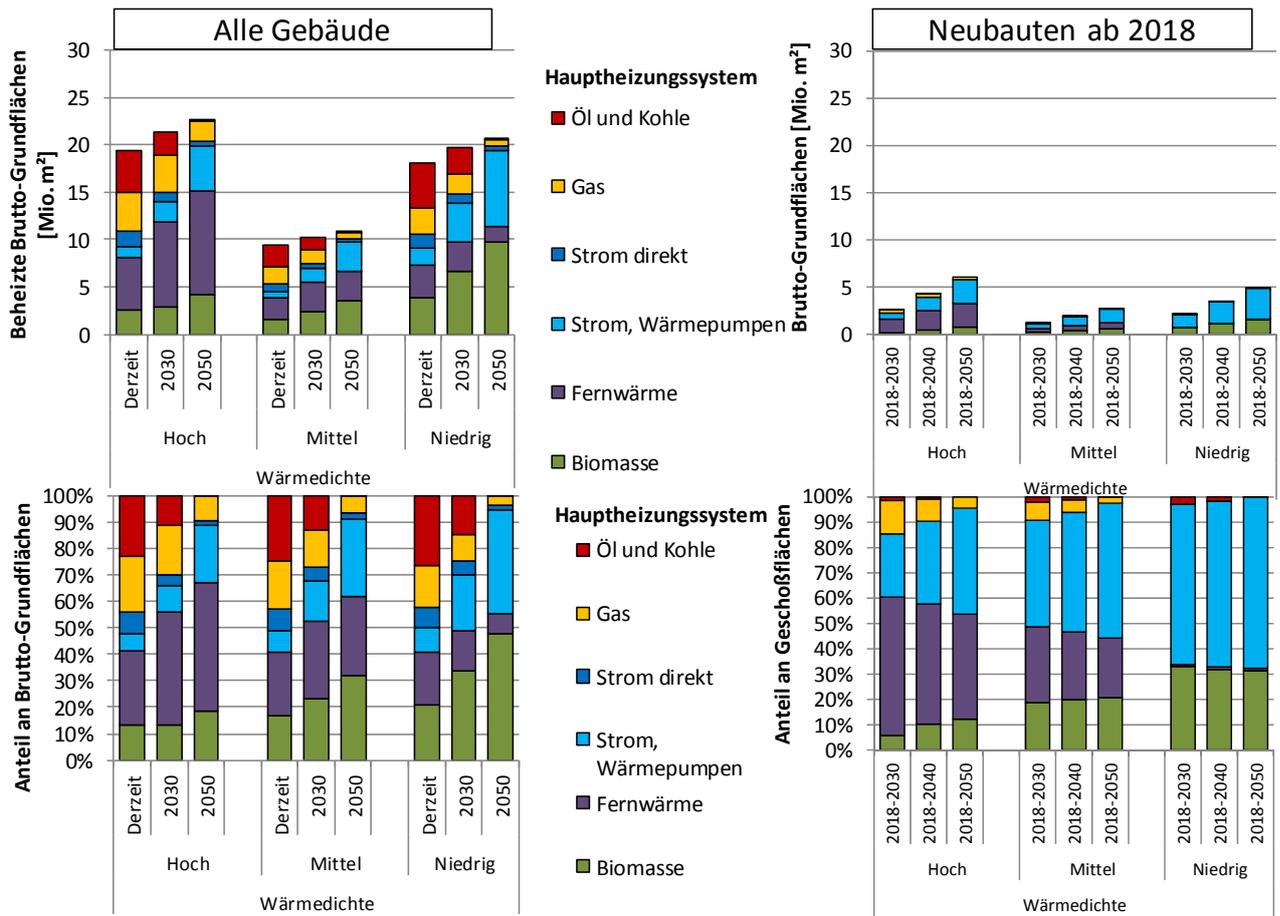


Abbildung 120. Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Salzburg

A.1.6 Steiermark

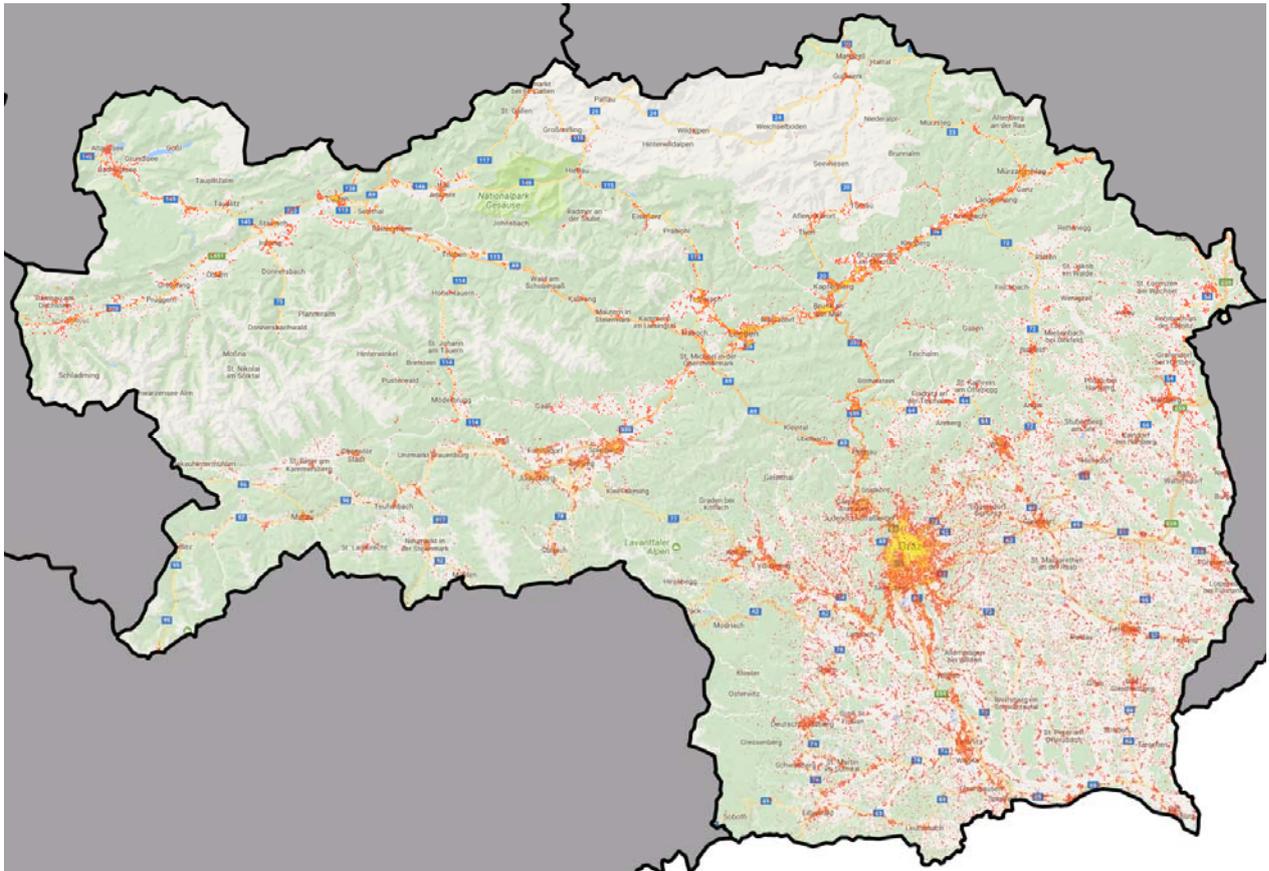


Abbildung 121. Darstellung der Wärmedichten in der Steiermark

Tabelle 19. Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte – Steiermark

	Regionen nach Wärmedichte		
	> 16 GWh/km ²	8 - 16 GWh/km ²	< 8 GWh/km ²
Anteil Energiebedarf nach Wärmedichte der Region	35%	16%	49%
Anteil der Bevölkerung in IG-L-Zonen nach Wärmedichte der Region	90%	71%	69%
Modellierte Anzahl an Klimazonen	4	3	5
Abgeschätzte Verfügbarkeit von Energieträgern			
Standardannahmen			
Solarthermie / PV	60%	65%	75%
Heizöl, Kohle, Strom direkt	100%	100%	100%
Stückholz, kommerziell	20%	60%	80%
Hackgut, kommerziell	20%	60%	80%
Stückholz, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Hackgut, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Pellets	70%	80%	90%
Wärmepumpe, Sole/Wasser	20%	50%	80%
Wärmepumpe, Außenluft /Wasser	80%	80%	80%
Regionsspezifische Annahmen			
Fernwärme, Urban	85%	25%	0%
Fernwärme, Biomasse-Nahwärme	0%	25%	5%
Erdgas	86%	53%	21%

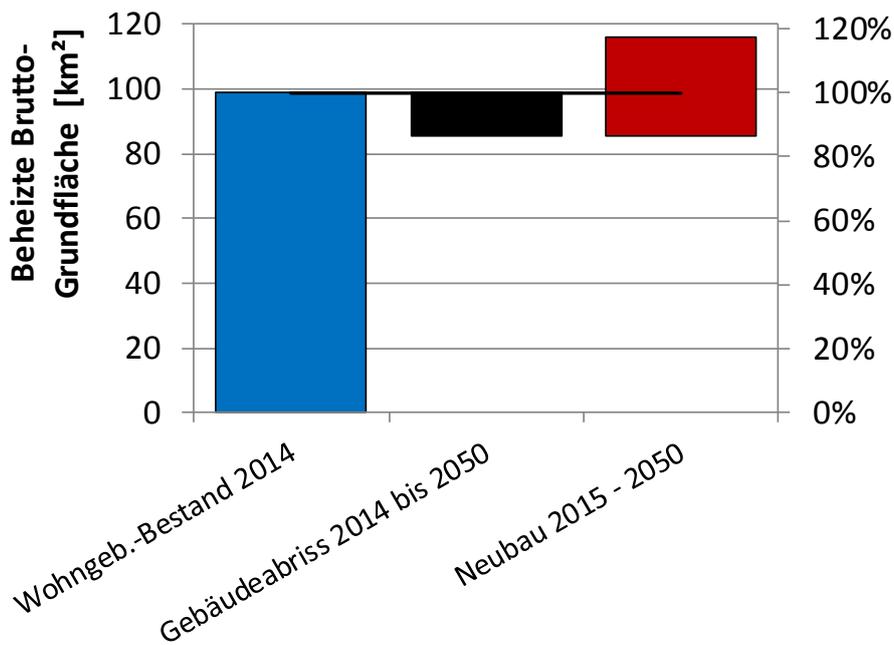


Abbildung 122. Beheizte Bruttogrundfläche in der Steiermark

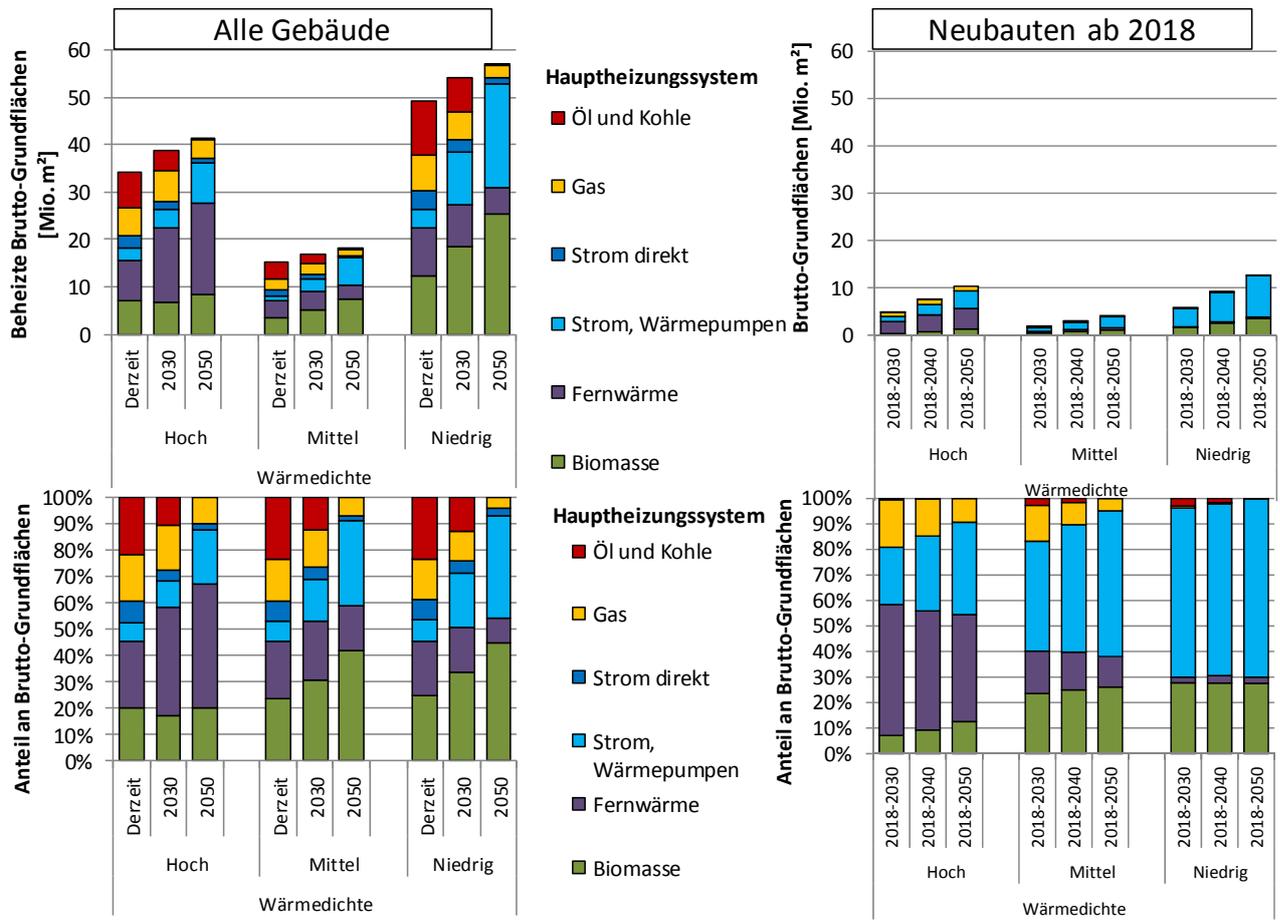


Abbildung 123. Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in der Steiermark

A.1.7 Tirol

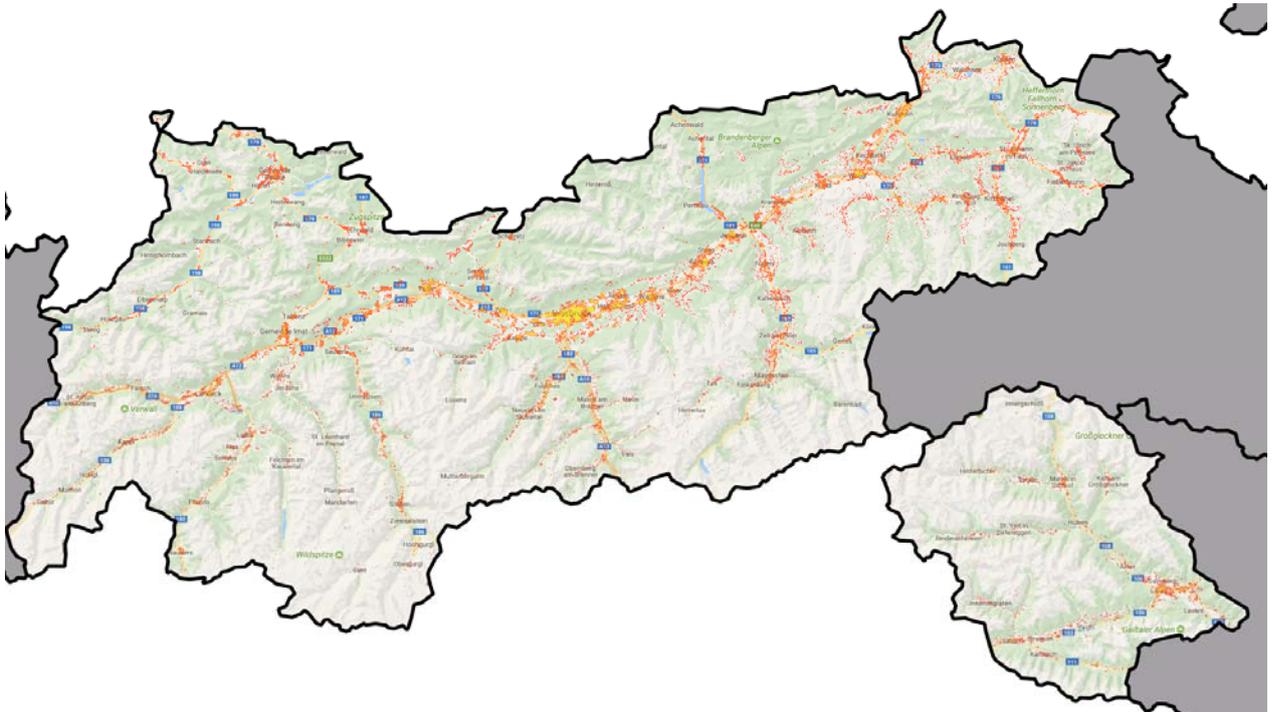


Abbildung 124. Darstellung der Wärmedichten in Tirol

Tabelle 20. Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Tirol

	Regionen nach Wärmedichte		
	> 16 GWh/km ²	8 - 16 GWh/km ²	< 8 GWh/km ²
Anteil Energiebedarf nach Wärmedichte der Region	38%	24%	38%
Anteil der Bevölkerung in IG-L-Zonen nach Wärmedichte der Region	0%	0%	0%
Modellierte Anzahl an Klimazonen	4	3	4
Abgeschätzte Verfügbarkeit von Energieträgern			
Standardannahmen			
Solarthermie / PV	60%	65%	75%
Heizöl, Kohle, Strom direkt	100%	100%	100%
Stückholz, kommerziell	20%	60%	80%
Hackgut, kommerziell	20%	60%	80%
Stückholz, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Hackgut, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Pellets	70%	80%	90%
Wärmepumpe, Sole/Wasser	20%	50%	80%
Wärmepumpe, Außenluft /Wasser	80%	80%	80%
Regionsspezifische Annahmen			
Fernwärme, Urban	77%	2%	0%
Fernwärme, Biomasse-Nahwärme	0%	2%	0%
Erdgas	83%	25%	23%

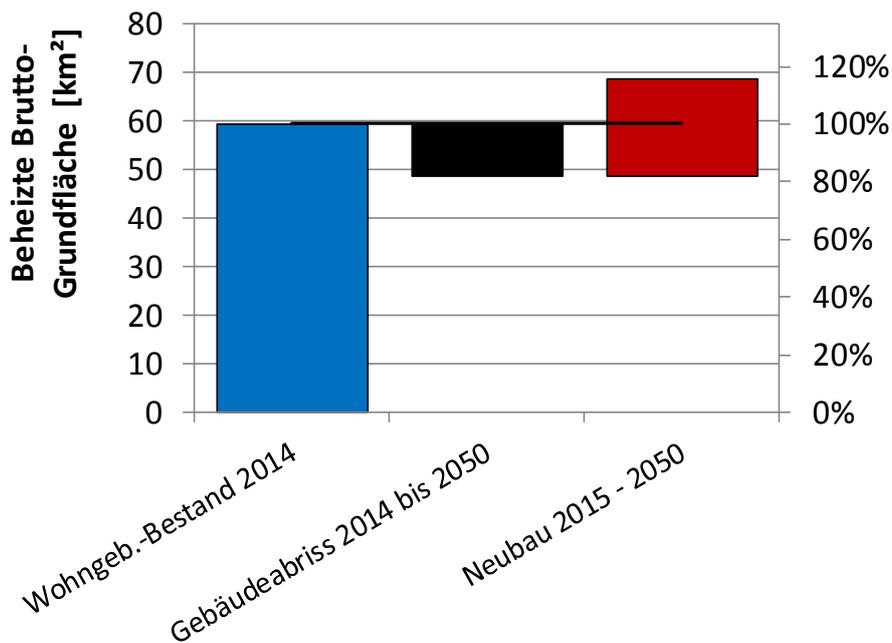


Abbildung 125. Beheizte Bruttogrundfläche in Tirol

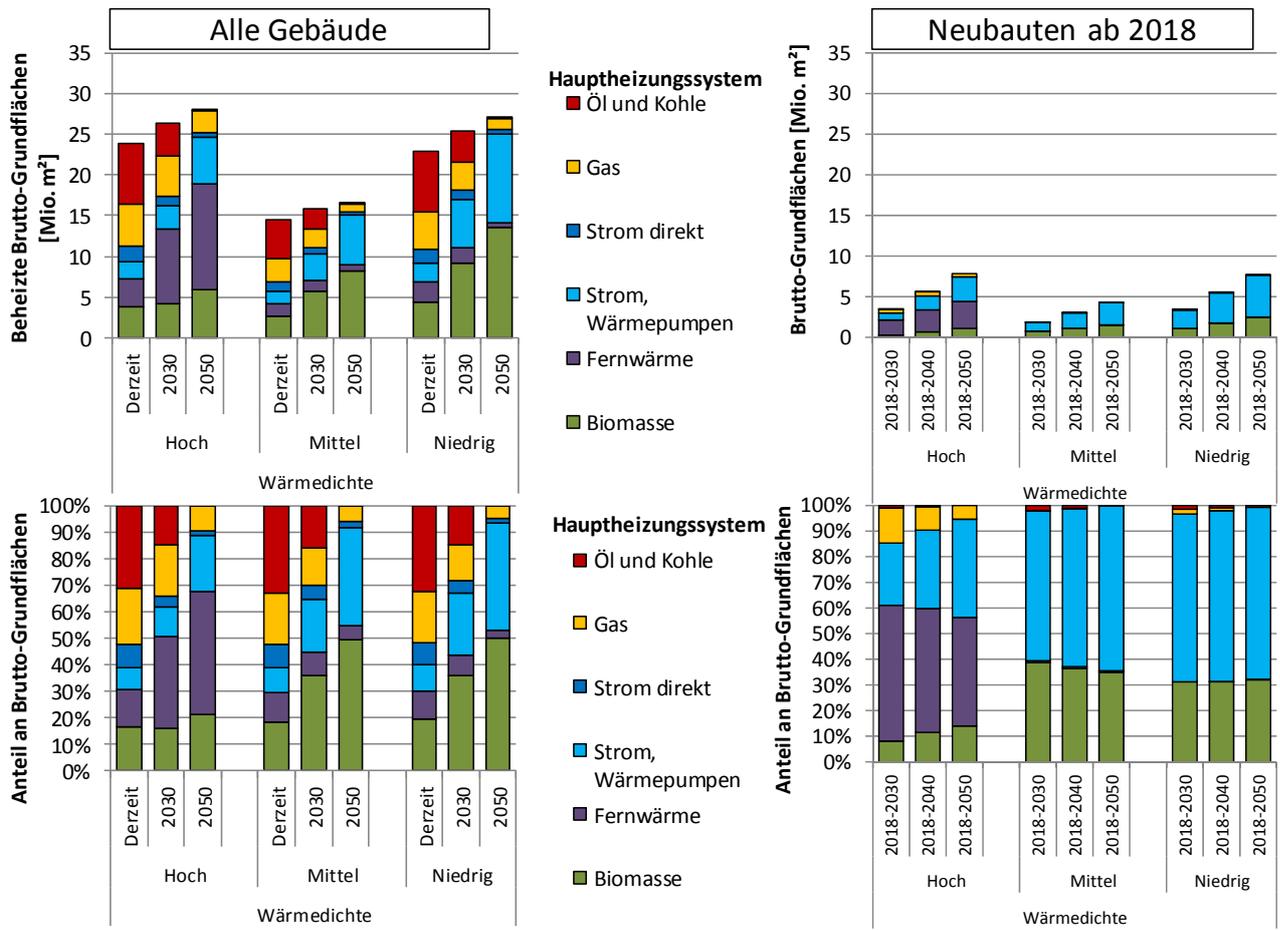


Abbildung 126. Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Tirol

A.1.8 Vorarlberg

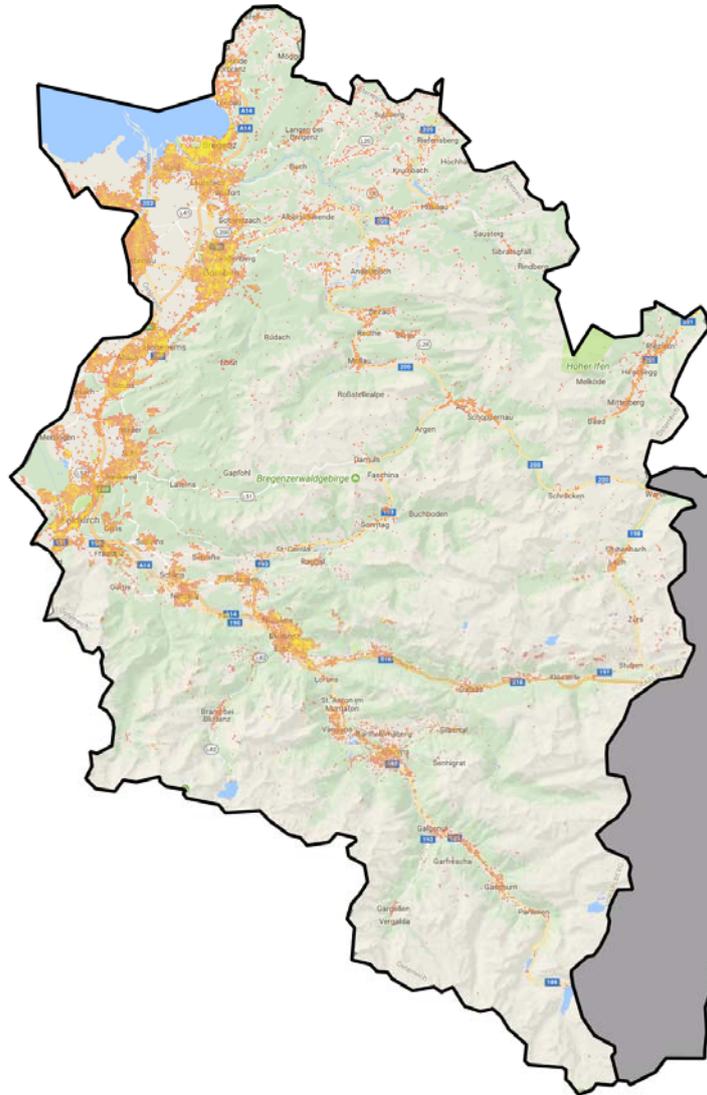


Abbildung 127. Darstellung der Wärmedichten in Vorarlberg

Tabelle 21. Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Vorarlberg

	Regionen nach Wärmedichte		
	> 16 GWh/km ²	8 - 16 GWh/km ²	< 8 GWh/km ²
Anteil Energiebedarf nach Wärmedichte der Region	60%	9%	31%
Anteil der Bevölkerung in IG-L-Zonen nach Wärmedichte der Region	35%	12%	6%
Modellierte Anzahl an Klimazonen	3	1	2
Abgeschätzte Verfügbarkeit von Energieträgern			
Standardannahmen			
Solarthermie / PV	60%	65%	75%
Heizöl, Kohle, Strom direkt	100%	100%	100%
Stückholz, kommerziell	20%	60%	80%
Hackgut, kommerziell	20%	60%	80%
Stückholz, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Hackgut, nicht kommerziell	0%	5%	10%
Pellets	70%	80%	90%
Wärmepumpe, Sole/Wasser	20%	50%	80%
Wärmepumpe, Außenluft /Wasser	80%	80%	80%
Regionsspezifische Annahmen			
Fernwärme, Urban	60%	2%	0%
Fernwärme, Biomasse-Nahwärme	0%	2%	3%
Erdgas	85%	19%	1%

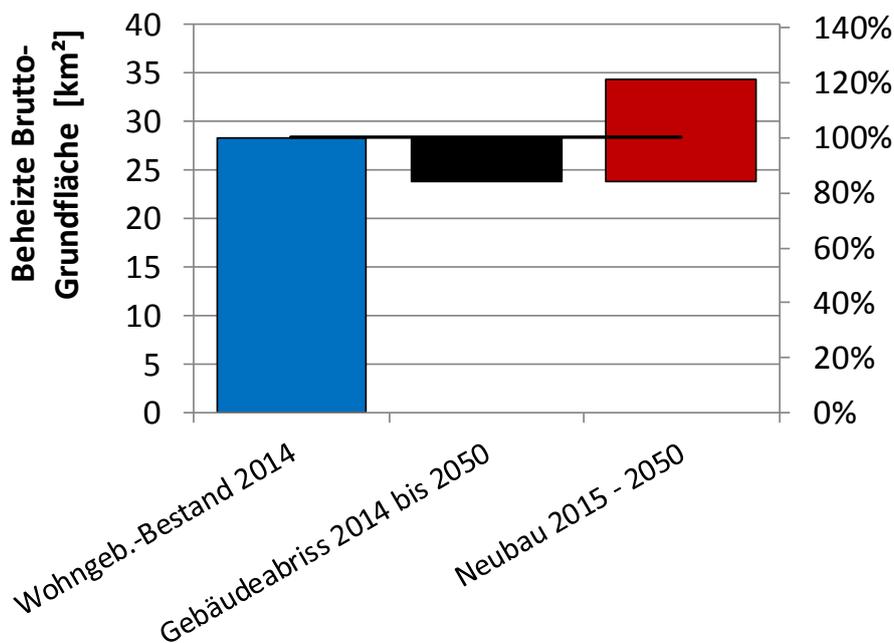


Abbildung 128. Beheizte Bruttogrundfläche in Vorarlberg

A.1.9 Wien

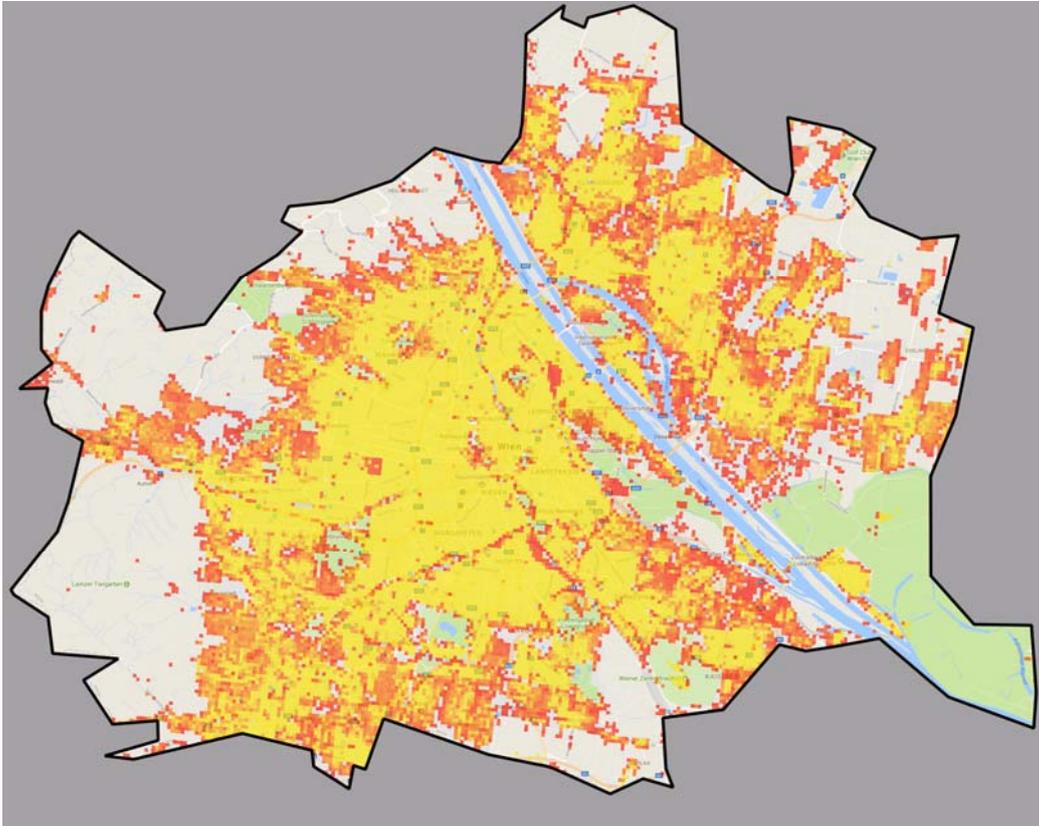


Abbildung 130. Darstellung der Wärmedichten in Wien

Tabelle 22. Basis-Annahmen für Verfügbarkeit von Energieträgern in Regionen mit unterschiedlicher Wärmedichte - Wien

	Regionen nach Wärmedichte		
	> 16 GWh/km ²	8 - 16 GWh/km ²	< 8 GWh/km ²
Anteil Energiebedarf nach Wärmedichte der Region	● 98%	● 2%	● 0%
Anteil der Bevölkerung in IG-L-Zonen nach Wärmedichte der Region	● 100%	● 100%	-
Modellierte Anzahl an Klimazonen	2	1	0
Abgeschätzte Verfügbarkeit von Energieträgern			
Standardannahmen			
Solarthermie / PV	● 60%	● 65%	● 75%
Heizöl, Kohle, Strom direkt	● 100%	● 100%	● 100%
Stückholz, kommerziell	● 20%	● 60%	● 80%
Hackgut, kommerziell	● 20%	● 60%	● 80%
Stückholz, nicht kommerziell	● 0%	● 5%	● 10%
Hackgut, nicht kommerziell	● 0%	● 5%	● 10%
Pellets	● 70%	● 80%	● 90%
Wärmepumpe, Sole/Wasser	● 20%	● 50%	● 80%
Wärmepumpe, Außenluft /Wasser	● 80%	● 80%	● 80%
Regionsspezifische Annahmen			
Fernwärme, Urban	● 81%	● 50%	● 0%
Fernwärme, Biomasse-Nahwärme	● 0%	● 0%	● 0%
Erdgas	● 94%	● 7%	● 0%

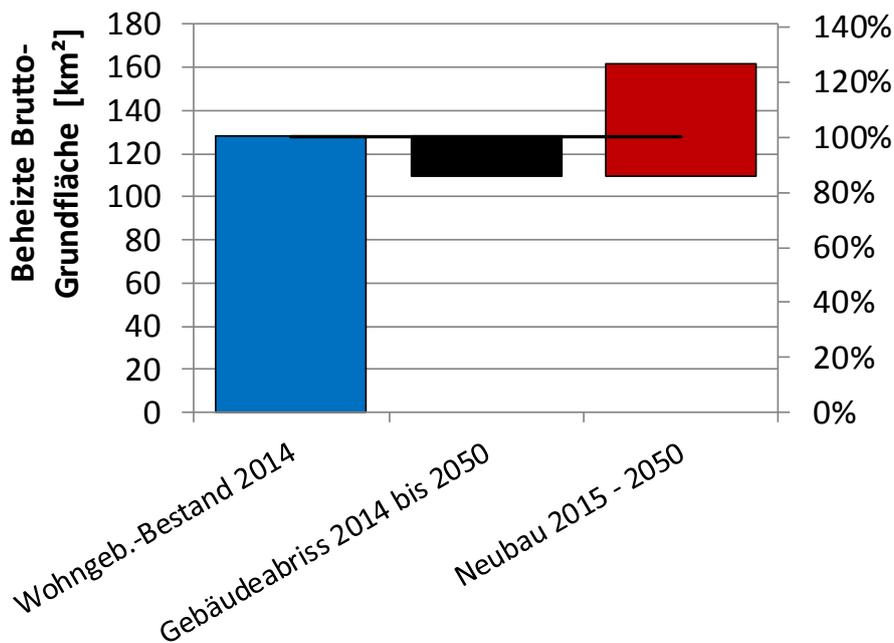


Abbildung 131. Beheizte Bruttogrundfläche in Wien

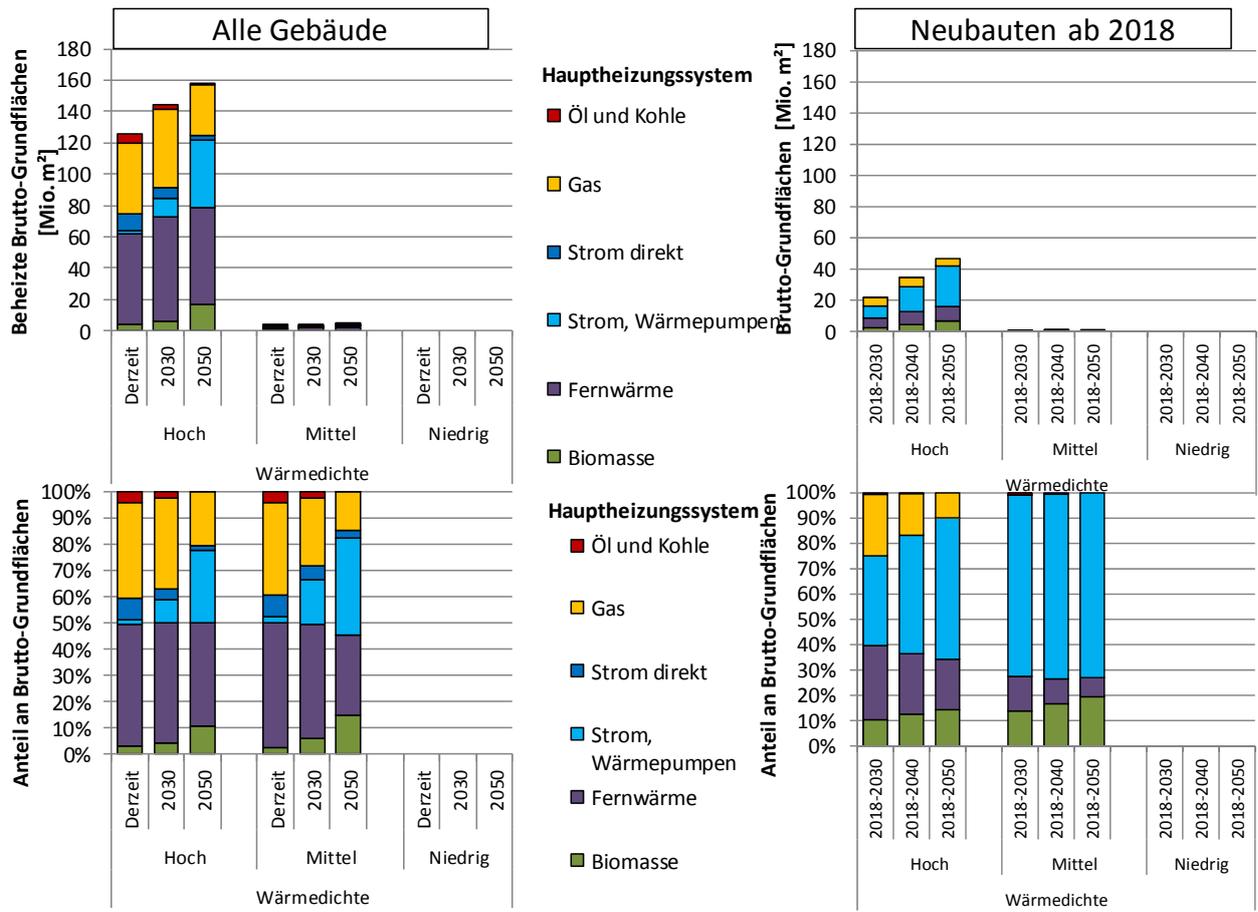


Abbildung 132. Wärmewende-Szenario: Versorgte Gebäudeflächen nach Wärmedichten für den gesamten Gebäudebestand sowie Neubauten ab 2018 in Wien