

Energieperspektiven

Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks – »Dampferstudie«

Vorarlberg 2010–2070



Energieinstitut Vorarlberg
Vallentin + Reichmann Architekten

Impressum

LANGFASSUNG

Energieperspektiven Vorarlberg 2010 - 2070

Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks - „Dampferstudie“

im Auftrag des Amtes der Vorarlberger Landesregierung

Bearbeitung:

Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn (A)

Vallentin+Reichmann Architekten, München (D)

Verfasser:

Martin Ploss, Energieinstitut Vorarlberg

Tobias Hatt, Energieinstitut Vorarlberg

Rainer Vallentin, Vallentin+Reichmann Architekten

Michaela Kern, Vallentin+Reichmann Architekten

Mitarbeit:

Karl Torghele, Spektrum - Zentrum für Umwelttechnik

und -management GmbH, Dornbirn

Umschlagsgestaltung:

Michael Lang, Grafiker, Erding (D)

Grafiken und Fotos: Energieinstitut Vorarlberg und

Vallentin+Reichmann Architekten

(andere Fotografien sind direkt bei den Abbildungen genannt)

Das Urheberrecht liegt bei den Autoren.

Dornbirn und München, Oktober 2017

Foto folgende Seite: Blick von Nordosten auf Rankweil

Energieinstitut Vorarlberg und Vallentin + Reichmann Architekten

Energieperspektiven Vorarlberg 2010 - 2070

Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks - „Dampferstudie“

Langfassung



Vorbemerkungen zur Langfassung

Für alle Leser, die sich über die im April 2017 publizierte Kurzfassung der „Energieperspektiven Vorarlberg“ hinaus für genauere Informationen zu Methodik und Ergebnissen interessieren, wurde zusätzlich eine Langfassung der Studie ausgearbeitet, die hiermit vorgelegt wird.

Im einführenden Kapitel (das aus der Kurzfassung übernommen wurde) werden ausgehend vom energiepolitischen Rahmen die Ziele der Studie umrissen um anschließend die Prämissen und die Methodik zu erläutern. Danach werden die Grundlagen der szenariengestützten Untersuchung dargelegt. Im Anschluss erfolgt eine detaillierte Präsentation der zentralen Ergebnisse die dann zu den abschließenden Handlungsempfehlungen überführen.

In der Langfassung finden sich ferner die Hinweise zu Literatur und sonstigen Quellen sowie die Anmerkungen. Die Studie entstand in enger Kooperation zwischen dem Energieinstitut Vorarlberg in Dornbirn und Vallentin+Reichmann Architekten aus München. Für spezielle Fragen wurden ferner die Firma Spektrum - Zentrum für Umwelttechnik und -management GmbH aus Dornbirn hinzugezogen.

Die Ergebnisse der Studie wurden vor der Veröffentlichung mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Inhalt

1	Einführung und zentrale Ergebnisse	S. 8		
1.1	Energiepolitischer Rahmen und Ziele der Studie	S. 8		
1.2	Prämissen und methodischer Rahmen	S. 11		
1.3	Szenariengestützte Untersuchung	S. 14		
1.4	Zentrale Ergebnisse	S. 18		
1.5	Handlungsempfehlungen	S. 23		
2	Vorarlberg - Energieperspektiven	S. 28		
2.1	Räumliche Struktur Vorarlbergs	S. 28		
2.2	Siedlungsentwicklung	S. 28		
2.3	Denkmalbestand	S. 30		
2.4	Übersicht über die zentralen Eck- und Basisdaten	S. 31		
2.5	Zielsetzungen Energieautonomie Vorarlberg	S. 33		
2.6	Klimaschutzziele in Übereinstimmung mit dem 2°C-Ziel der Pariser Klimakonferenz	S. 34		
2.7	Kostenoptimalitätsstudien zur Bestimmung der energetischen Qualitäten im Effizienz-Szenario	S. 37		
2.8	Energieperspektiven	S. 39		
3	Ausgangssituation und -zustand	S. 40		
3.1	Strategische Gruppen im Hinblick auf die Bewertung der Eingriffsempfindlichkeit	S. 40		
3.2	Einteilung des Bestands in Baualtersklassen	S. 41		
3.3	Bestimmung des energetischen Ausgangszustands der Gebäude	S. 41		
3.4	Struktur der Wärme- und Stromversorgung			
S. 44				
4	Szenarien und Modellbildung	S. 46		
4.1	Beschreibung der Szenarien	S. 48		
4.2	Bilanzierung in den Szenarien	S. 49		
4.3	Kohortenmodell	S. 51		
4.4	Szenarioabhängige Annahmen zu den energetischen Qualitäten der Baukomponenten im Kohortenmodell	S. 55		
4.6	Szenarioabhängige Annahmen zu den energetischen Qualitäten der Technikkomponenten in den Szenarien	S. 60		
			5	Entwicklung Heizwärmebedarf 2010 - 2070 S. 74
			6	Entwicklung Endenergiebedarf 2010 - 2070 S. 82
			7	Entwicklung Primärenergiebedarf 2010 - 2070 S. 92
			8	Entwicklung THG-Emissionen 2010 - 2070 S. 94
			9	Strategische Fragen und Analysen S. 98
			10	Anmerkungen S. 100
			11	Literatur S. 101

Vorwort

Der Energiebedarf des Gebäudeparks ist eine wesentliche Einflussgröße für den Ressourcenbedarf und die Treibhausgasemissionen einer Region.

Bei den vorangegangenen Besprechungen hat sich der Name „Dampferstudie“ als Kurzbezeichnung für die vorliegende Untersuchung etabliert. Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass der Wohngebäudepark aufgrund der langen Nutzungsdauern der baulichen und technischen Komponenten ein sehr träges System darstellt. Erfolge lassen sich nur durch ein beharrliches und gleichzeitig konsequentes Handeln über lange Zeiträume erzielen. Das System verhält sich wie ein Dampfer, der sein Ziel nur über einen vorausschauenden und ruhigen Kurs erreicht.

Die nun vorliegende Studie soll genau dies aufzeigen: Ihr Gegenstand ist die Abbildung des zukünftigen Energiebedarfs und der klimarelevanten Emissionen der Vorarlberger Wohngebäude in vier Hauptszenarien, die unterschiedliche Herangehensweisen repräsentieren. Im Mittelpunkt der Studie steht die Identifizierung einer Langfriststrategie, in der die dafür notwendigen Einzelmaßnahmen benannt und mit ihren Qualitätsanforderungen über mehrere Jahrzehnte hinweg in ihrem zeitlichen Ablauf definiert werden. So wird der Nachweis geführt, wie die Ziele der Energieautonomie Vorarlberg und der Klimakonferenz von Paris konkret erreicht werden können.

Die Untersuchung dient ferner dazu, das Land Vorarlberg dabei zu unterstützen, frühzeitig die dafür notwendigen Entscheidungen zu treffen und die Maßnahmen so zu bestimmen, dass die genannten Ziele im Gebäudesektor bis 2050 auf möglichst wirtschaftliche Art und Weise erreicht werden können. Knapp 10 Jahre nach Start des Prozesses der Energieautonomie Vor-

arlberg könnten die „Energieperspektiven Vorarlberg“ somit ein wichtiger Meilenstein zu ihrer Umsetzung werden.

Sie können darüber hinaus durch ihren methodischen Aufbau und die Nachvollziehbarkeit der Annahmen und Berechnungen sehr gut als Referenz dienen, um die Ergebnisse des Monitorings in Bezug auf die kurz- und mittelfristige Zielausrichtung einordnen zu können.

Die Untersuchung basiert wesentlich auf der Dissertation von einem der Autoren (Vallentin 2011). Das gilt sowohl für die Untersuchungsmethode als auch für die grundlegenden Randbedingungen, Annahmen und Berechnungsschritte. Nur dort, wo dies unverzichtbar war, wurden Anpassungen vorgenommen. Für weitergehende Informationen zur Methodik und den Hintergründen wird daher auf diese Arbeit verwiesen.

In der Studie wurde großer Wert darauf gelegt, die lokalen Besonderheiten Vorarlbergs zu berücksichtigen. Insbesondere wurden die Haushalts- und Bevölkerungsentwicklung sowie die Zusammensetzung des Gebäudeparks mit seinen typischen Bauformen, Konstruktionen und Versorgungssystemen im Modell berücksichtigt.



Aufgelockerte Bebauung im Brengener Wald bei Andelsbuch.

1 Einführung und zentrale Ergebnisse

Die Energieautonomie Vorarlberg ist das zentrale energiepolitische Programm des Landes Vorarlberg. In einem einstimmigen Landtagsbeschluss wurde die Energieautonomie als langfristiges strategisches Ziel bis 2050 festgelegt.

Vorarlberg möchte dadurch in der Energiefrage selbstbestimmt agieren, um unabhängig von Energiekostensteigerungen zu werden und Versorgungsengpässen, speziell bei den fossilen Energieträgern, vorzubeugen. Zugleich soll ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden (vgl. AVL 2012, S.6).

1.1 Energiepolitischer Rahmen und Ziele der Studie

Das Programm Energieautonomie kann als regionale Umsetzung internationaler, europäischer und nationaler Zielvorgaben verstanden werden. Diese Vorgaben wurden in den letzten 10 Jahren immer stärker konkretisiert und erhielten rechtlich einen immer verbindlicheren Charakter. Mit Energieautonomie ist gemeint, dass bis zum Zieljahr 2050 der Gesamt-Energiebedarf des Landes so weit reduziert werden soll, dass die Erträge der heimischen erneuerbaren Energieträger den Bedarf jahresbilanziell decken können.

Auf internationaler Ebene ist das im Dezember 2015 verabschiedete Pariser Klimaabkommen (UN 2016) inzwischen nach der Ratifizierung durch die erforderliche Zahl von UN-Mitgliedsstaaten in Kraft getreten. Statt der 55 notwendigen haben inzwischen 145 Staaten das Abkommen ratifiziert (**Anm. 1**). Das Abkommen sieht vor, Maßnahmen zu ergreifen, um den Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf deutlich unter zwei Grad, möglichst auf 1,5 Grad über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Für das Zwei-Grad-Ziel ist es notwendig, dass die jährlichen Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen in

Österreich von ca. 8,0 Tonnen im Jahr 2010 auf 0,5 - 2,0 Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2050 reduziert werden (vgl. Kern 2016). Soll das 1,5 Grad-Ziel erreicht werden, so müsste der Ausstoß von Klimagasen zwischen 2045 und 2060 auf Null zurückgefahren werden. Österreich ratifizierte dieses Abkommen ebenso wie die gesamte Europäische Union Ende 2016.

Auf europäischer Ebene wurden zur Konkretisierung des schon länger definierten Langfristziels, d.h. einer Reduktion der Treibhausgase bis 2050 um 80-95% gegenüber dem Niveau von 1990, neue Zwischenziele für 2030 festgelegt. Die EU verfolgt im Rahmen ihrer Klima- und Energiepolitik bis 2030 die folgenden Hauptziele:

- Senkung der Treibhausgasemissionen um mindestens 40 % gegenüber dem Stand von 1990
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energiequellen auf mindestens 27 %
- Steigerung der Energieeffizienz um mindestens 27 %

Dieser Rahmen wurde im Oktober 2014 von den EU-Staats- und Regierungschefs angenommen und baut auf dem Klima- und Energiepaket 2020 (EU 2014) auf. Die o.g. EU-Reduktionsziele lassen sich aber nicht direkt auf Länder oder Sektoren beziehen. So wurde zunächst das Treibhausgas-Einsparziel für die nicht unter den Emissionshandel fallenden Verbraucher EU-weit auf 30% festgelegt. Zudem wird auch die Wirtschaftskraft eines Landes berücksichtigt. Auf die Republik Österreich entfällt im Zeitraum 2005 - 2030 für den Nicht-Emissionshandel, zu dem u.a. auch der Gebäudesektor zählt, demnach eine Reduktion von 36 %.

Als Folge der dargestellten Konkretisierung internationaler und europäische Ziele hat auch in Österreich die Diskussion um

den richtigen Weg zur Verwirklichung der kombinierten Energiestrategien (Effizienzsteigerung und Dekarbonisierung) wieder an politischer Bedeutung gewonnen. Mindestens fünf Bundesländer haben sich inzwischen langfristige Ziele ähnlich denen der Energieautonomie Vorarlberg gesetzt. Bundespolitisch läuft derzeit der Prozess zur Erarbeitung der integrierten Energie- und Klimaschutzstrategie, in der die österreichischen Langfristziele zur Umsetzung der internationalen und europäischen Klimaschutzziele aufgezeigt werden sollen.

Zielsetzung und Eingrenzung der Studie

Angesichts der dargestellten Entwicklung zur Konkretisierung langfristiger Reduktionsziele verfolgt diese Studie die folgenden Aufgabenstellungen:

- Quantifizierung der Energie- und Treibhausgas-Reduktionspotenziale des Wohngebäudeparks in Vorarlberg bis 2050 durch Modellierung verschiedener Entwicklungsszenarien
- Ermittlung von Grundlagen zur Beschreibung eines sektoralen Reduktionsziels für die privaten Haushalte bzw. den Wohngebäudepark bis zum Jahr 2050
- Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte bei der Bewertung der verschiedenen Szenarien

Konkret sollen hierbei vor allem die folgenden Fragen beantwortet werden:

- 1 Welche Energieeinsparungen sind im Wohngebäudesektor notwendig, um das Ziel der Energieautonomie 2050 zu erreichen und in welchem Ausmaß führt dies parallel auch zur Reduktion von Treibhausgasemissionen?
- 2 Welche Energieeinsparungen und Reduktionen der THG-Emissionen werden erreicht, wenn die derzeitigen ener-

getischen Qualitäten von Neubauten und Sanierungen unverändert beibehalten werden?

- 3 Welche Einsparungen sind möglich, wenn die Maßgabe der Wirtschaftlichkeit der Effizienzmaßnahmen beachtet wird?
- 4 Welche Rolle spielen Neubau und Sanierung für das Erreichen der genannten Einsparziele?
- 5 Inwiefern stellen Baudenkmale und der sonstige bedingt sanierbare Bestand ein Hemmnis für die Zielerreichung der Energieautonomie dar?
- 6 Welche Beiträge können die Verringerung des Nutzwärmebedarfs (Heizwärme-, Warmwasser- und Strombedarf), die Effizienzsteigerungen der Wärme- und Stromversorgung und der Umstieg auf emissionsärmere bzw. erneuerbare Energieträger sowie die aktive Nutzung von Solarenergie für die anvisierten Gesamteinsparungen leisten?
- 7 Welche kurz-, mittel- und langfristigen Maßnahmen lassen sich aus den Szenarien ableiten?
- 8 Inwieweit kann die Studie eine belastbare Grundlage für das Monitoring und die Zielerfüllung der Energieautonomie Vorarlbergs für die privaten Haushalte darstellen?

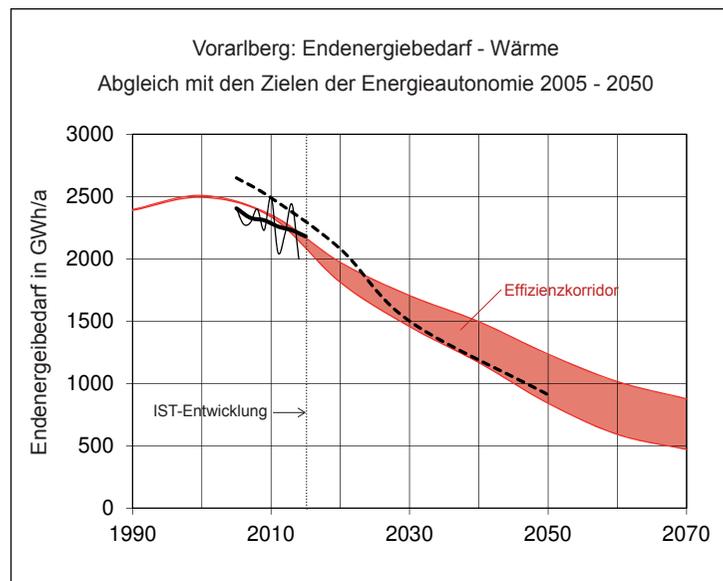
Die Studie soll – ebenso wie die Untersuchungen zum Einfluss des Gebäude-Energieniveaus auf die Lebenszykluskosten im Modellvorhaben „KliNaWo“ (EIV 2017) – dazu beitragen, Entscheidungsgrundlagen zur Festlegung von Langfristzielen und Umsetzungsmaßnahmen für den Sektor der Wohngebäude zur Verfügung zu stellen. Die Untersuchung kann aber nicht auf alle Fragen, die im Sinne der Energieautonomie von Interesse wären, eine Antwort geben. So werden beispielsweise eigentumspezifische Hemmnisse, Finanzierungsfragen oder die Frage einer sozialgerechten Modernisierung des Bestandes sowie einer sozialgerechten Energiepreisbildung außen vorgelassen.

Abbildung 1.1
 Mehrfamilienhaus in Langenegg.
 Dieses Gebäude repräsentiert den
 derzeitigen Stand der Technik im
 Hinblick auf Energieeffizienz- und
 Klimaschutzstandards in Vorarl-
 berg. Foto: G. Morscher.



■ Korridor Effizienzscenarien
— Monitoring Energieautonomie
— Monitoring (geglättet)
- - - Ziele Energieautonomie

Abbildung 1.2
 Entwicklung des Endenergiever-
 brauchs für Wärme der privaten
 Haushalte Vorarlbergs in den
 Jahren 2005 - 2014 als Ergebnis
 des Energieautonomie-Monitorings.
 Zur besseren Einordnung sind die
 Ergebnisse der beiden Effizienzscen-
 arien als Korridor (rot) sowie die
 Ziele der Energieautonomie 2005
 - 2050 (gestrichelt) angegeben. Es
 existiert eine gute Übereinstimmung
 zwischen den Zielen der Energieau-
 tonomie, der bisherigen Ist-Ent-
 wicklung und den Ergebnissen der
 beiden Zielszenarien.



Bisherige Erfolge der Effizienzstrategie in Vorarlberg

Seit den 1980er Jahren hat sich Vorarlberg als vorbildliche Region für zeitgemäße Architektur mit hohem energetischen und ökologischem Anspruch einen Namen gemacht. Der von innovativen Bauherren, Architekten und Fachplanern sowie Bauträgern und ausführenden Firmen ausgelöste Trend zu Effizienz und Ökologie wurde schon früh durch zielgerichtete Förderung, Weiterbildung und Sensibilisierungsmaßnahmen unterstützt. Wichtige Meilensteine dieser breitgestreuten Aktivitäten waren beispielsweise:

- Fixierung der Mindestanforderungen der BTV auf Werte, die im Vergleich zu den nationalen Mindestanforderungen ambitionierter sind
- Berücksichtigung energetischer Aspekte in der Wohnbauförderung ab 1990
- Einführung einer zusätzlichen Solar- und Energieförderung ab 1991
- Unterstützung von Demonstrationsvorhaben wie CEPHEUS und KliNaWo
- Weiterbildungsangebote wie die internationale Solarbauschule Vorarlberg seit Anfang der 90er Jahre
- Beschluss, den gemeinnützigen Wohnbau ab 2008 in Passivhausqualität zu realisieren

Die Erfolge der seit etwa drei Jahrzehnten verfolgten Effizienzstrategie lassen sich inzwischen an den Verbrauchsdaten des gesamten Wohngebäudebestandes für Heizung und Warmwasser ablesen: Stieg der Gesamt-Endenergiebedarf aufgrund des Zuwachses an Wohnflächen bis etwa zum Jahr 2000 stetig an, so sinkt der gemessene, klimabedingte Endenergieverbrauch gemäß Energieautonomie-Monitoring seit etwa 2005 trotz des ungebremsen Flächenzuwachses bei den Wohnflächen (siehe Abb 1.2). Die Energieautonomie kann damit auf ein solides Fundament energiepolitischer Maßnahmen im Gebäudebereich aufbauen.

1.2 Prämissen und methodischer Rahmen

Anhand szenariobasierter Modellrechnungen wird untersucht, mit welchen energetischen Standards und Versorgungslösungen die Ziele der Energieautonomie Vorarlberg und der Klimakonferenz in Paris 2016 im Wohngebäudepark von Vorarlberg erreicht werden können. Hierfür ist die a-priori-Erkenntnis entscheidend, dass ein derartiges Ziel nicht in der Kurzfristperspektive umsetzbar ist (vgl. Vallentin 2011, S. IV-27 und IV-155). Aufgrund der großen Trägheit handelt es sich um einen langfristigen Transformationsprozess, der alle energetisch relevanten Systeme und damit die Gebäude (Gebäudehülle mit Lüftungskonzept) und die Versorgungssysteme (Wärme- und Stromerzeugung) umfasst. Daher sind die Szenarien in einem ausreichend großen Zeitrahmen zu modellieren. Gewählt wurden hierfür 40 - 60 Jahre. Diese Zeitspanne umfasst in etwa die typische mittlere Nutzungsdauer aller Baukomponenten. Damit ist sichergestellt, dass alle Gebäude wenigstens einen Instandsetzungszyklus durchlaufen können.

Typologische Methode

Der Untersuchung liegt eine typologische Methode zugrunde. Damit ist gemeint, dass die Komplexität des Gebäudebestands über eine noch überschaubare Anzahl von „Repräsentanten“ abgebildet wird. Diese Typen bestehen aus einem räumlichen Gebäudemodell mit zugeordneten energetischen Eigenschaften. Sie werden schließlich zu einem Modell zusammengeführt, das den gesamten Gebäudebestand des Landes Vorarlberg abbildet. Dies ermöglicht einen gewissen Abstraktionsgrad, der für eine energetisch-städtebauliche Untersuchung notwendig ist. Die o.g. „Repräsentanten“ durchleben nach ihrer Errichtung abhängig von der Nutzungsdauer der Bau- und Technikkomponenten Instandsetzungs- und Erneuerungszyklen, die jeweils Anlässe für daran gekoppelte energetische Maßnahmen bilden. Die Effizienz- und Klimaschutzstrategien werden somit als fein unterscheidbare Einzelmaßnahmen

nachvollziehbar. Dabei wird deren zeitliche Abfolge als langfristiger Transformationsprozess deutlich. Die energetische Qualität kann bei jedem Einzelschritt frei gewählt werden. Dies erfolgt abhängig von den spezifischen Vorgaben in den jeweiligen Szenarien.

Eine derartige Typologie kann mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden aufgestellt werden. Betrachtet man sehr große räumliche Einheiten, z.B. ganz Österreich, ein Bundesland oder eine Stadt, sind gröbere Typologien angemessen. Dies kann z.B. eine systematisch erhobene Gebäudetypologie (IWU 2003) sein oder in Form von Siedlungsstrukturtypen erfolgen. Auf der Ebene von Dörfern oder Stadtquartieren ist es jedoch sinnvoll, die gestalterischen oder funktional prägenden bzw. energetisch relevanten Spezifika des Bestandes (z.B. speziell vorgefundene Gebäude- und Nutzungsformen, Bau- und Konstruktionsweisen) individuell zu berücksichtigen.

Im vorliegenden Fall wurde der Weg einer abstrakten Gebäudetypologie gewählt, die jedoch differenziert nach Gebäudetypen, Baualtersklassen und Eingriffsempfindlichkeit konzipiert wurde. Hintergrund hierfür war, dass nur für eine derartige Typologie die erforderlichen Daten der Statistik Austria zur Verfügung standen.

Eingriffsempfindlichkeit als zentrales Thema

Für jegliche Untersuchungen von Klimaschutzstrategien im Gebäudesektor ist es entscheidend, den Bestand nicht als homogene Einheit zu interpretieren, sondern in seinen baugeschichtlichen, morphologischen und bautechnischen Unterschieden zu erfassen. Nur auf einer derartigen Basis ist es möglich, die notwendigen Differenzierungen zu treffen, die für eine baukulturell verträgliche Umsetzung notwendig sind. Hierzu wurden folgende Prämissen aufgestellt, die als wesentliche Randbedingung in der Modellbildung und bei der Interpretation der Ergebnisse Berücksichtigung fanden.

Einteilung des Bestands in strategische Gruppen

Der Bestand wird in sog. strategische Gruppen eingeteilt, die sich im Hinblick auf ihre baukulturelle und gestalterische Eingriffsempfindlichkeit unterscheiden (siehe Abb. 1.3):

- A** Baudenkmale
- B** Sonstiger bedingt sanierbarer Bestand
- C** Voll sanierbarer Bestand
- D** Neubau ab 2010

Die energetischen Anforderungen an die strategischen Gruppen erfolgen in abgestufter Form. Vollumfängliche Anforderungen werden nur an den Neubau gestellt. Im Bestand wird berücksichtigt, dass baukulturelle, baupraktische und wirtschaftliche Restriktionen existieren.

Sonderstellung der Baudenkmale

An Baudenkmale werden vorab keine energetischen Anforderungen gestellt und es besteht auch keine Pflicht, einen Ausgleich für die im Vergleich zum voll sanierbaren Bestand geringere Energieeffizienz zu leisten. Bauliche Maßnahmen können hier nur in enger Abstimmung mit den Denkmalschutzbehörden ausgeführt werden. Um auf der sicheren Seite zu rechnen, wurden hier energetische Verbesserungen sehr zurückhaltend festgelegt. Im Zweifel erfolgen die Einordnungen eher auf der konservativen Seite:

- Bei Baudenkmalen und im bedingt sanierbaren Bestand kommt bei schützenswerten Fassaden ein Außenwärmeschutz generell nicht in Frage.
- Im Business-as-usual- und im Effizienz-Szenario werden für diese Fälle auch keine Innendämmungen vorgesehen.
- Als verträglich ausführbare Maßnahmen an der Gebäudehülle bei Baudenkmalen und im bedingt sanierbaren Bestand kommen nur die Maßnahmen Dach- und Kellerdeckendämmung und der Austausch von Verglasungen bei Erhalt der vorhandenen Fensterrahmen in Frage.
- Aufgrund der hierbei regelmäßig auftretenden Beschränkungen (z.B. Dämmstärken, zulässiges Glasgewicht)

werden die energetischen Qualitäten im bedingt sanierbaren Bestand generell geringer angenommen als im voll sanierbaren Bestand.

Einteilung des Gebäudebestandes in Baualtersgruppen

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal des Wohngebäudeparks stellen die unterschiedlichen Baualter der Bestandsgebäude und der künftigen Neubauten dar. Je nach dem Zeitpunkt der Ersterstellung weisen die Gebäude unterschiedliche Konstruktionen und energetische Eigenschaften auf. Zudem ergeben sich die Instandsetzungs- und Sanierungszyklen direkt aus dem Baualter und den mittleren Nutzungsdauern der jeweiligen Komponenten. Gemäß den Vorgaben der Statistik Austria werden im Modell acht Baualtersklassen unterschieden (bis 1918, 1919-1945, 1946-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010), die sich vor allem im Hinblick auf das Wärmeschutzniveau voneinander unterscheiden. Hierfür wurden auch die Daten von Energieausweisen und aus Expertenbefragungen für die Modellbildung herangezogen.

Unterscheidung grundlegender Gebäudetypen

In der Wohnflächenstatistik gemäß den Differenzierungen der Statistik Austria werden fünf grundlegende Gebäudetypen abhängig von Wohnform und Größe ausgewiesen. Differenziert wird zwischen Einfamilien- (EFH) und Zweifamilienhäusern (ZFH) sowie im Geschosswohnungsbau zwischen kleinen Mehrfamilienhäusern mit 3-9 Wohneinheiten (MFH), Wohnhausanlagen mit 10-19 Wohneinheiten (WHA) und großen Wohnbauten ab 20 Wohneinheiten (GWB).

Diese Gliederung ist auch für die energetische Betrachtung sinnvoll, weil sich diese Typen hinsichtlich des spezifischen Hüllflächenaufwands (z.B. ausgedrückt über das A/V-Verhältnis) und die typischen Dachformen, Orientierungen und Haustechniksysteme z.T. deutlich voneinander unterscheiden.



A Baudenkmal



B Bedingt sanierbarer Bestand



C Voll sanierbarer Bestand



D Neubau ab Baujahr 2010

Abbildung 1.3
Einteilung des Wohngebäudeparks
in vier strategische Gruppen:
A Baudenkmale
B Bedingt sanierbarer Bestand
C Voll sanierbarer Bestand
D Neubau

Diese Gruppen unterscheiden sich vor allem im Hinblick auf die Eingriffsempfindlichkeit bei energetischen Sanierungsmaßnahmen. In den Szenarien wurden für jede dieser Gruppen differenzierte Anforderungen für die energetischen Modernisierungen im Bereich Gebäudehülle modelliert.

Kopplungsprinzip als Umsetzungsstrategie

Das sog. Kopplungsprinzip besagt, dass sich Gelegenheiten für energetische Effizienzverbesserungen immer dann ergeben, wenn ein Bauteil oder eine Technikkomponente ohnehin instand zu setzen oder zu erneuern ist. Sobald z.B. der Außenputz neu zu streichen oder auszubessern ist, kann zusätzlich eine Außendämmung aufgebracht werden. Es sind aber auch andere Anlässe denkbar, z.B. Erweiterungen und Umbauten sowie Nutzungsänderungen, die immer Eingriffe in die Bausubstanz oder die Haustechnik erfordern. **Betont werden soll an dieser Stelle, dass das Motiv der Energieeinsparung oder des Klimaschutzes für sich genommen – mit wenigen noch zu benennenden Ausnahmen – nicht der Auslöser für Effizienzverbesserungen sein kann und soll.**

Dafür sprechen vor allem ökonomische Gründe: In den meisten Fällen ist nur dann eine Wirtschaftlichkeit der energetischen Maßnahme gegeben. Es fallen keine zusätzlichen Rüstkosten (z.B. Baustelleneinrichtung, Gerüst) an und der Restwert der Konstruktion wird nicht vorzeitig zerstört. Es ist aufschlussreich, dass Hausbesitzer von sich aus bereits dieser ökonomischen Vernunft folgen (vgl. Frondel et al. 2006, S. 89). Anderslautende Vorschläge kommen eher von außen, z.B. die Forderung nach Erhöhung der Sanierungsrate über 2% hinaus oder die sog. „Abrissprämie“.

Mittlere Nutzungsdauern

Gemäß dem Kopplungsprinzip werden im Kohortenmodell immer dann energetische Verbesserungen durchgeführt, wenn die Nutzungszeit eines Bauteils oder einer Technikkomponente abläuft. Sie entsprechen den technischen Standzeiten und nicht den wirtschaftlichen Abschreibungszeiträumen, die i.d.R. deutlich kürzer sind. Aus der mittleren Nutzungsdauer der Komponenten lassen sich schließlich mittlere Nutzungsdauern ableiten, die bei den Baukomponenten mit 50 - 60 Jahren deutlich höher liegen als bei den Technikkomponenten, bei denen die mittlere Nutzungsdauer zwischen 15 und 25 Jahren liegt.

1.3 Szenariengestützte Untersuchung

Die Untersuchung erfolgt über ein Kohortenmodell, in dem unterschiedliche Handlungsoptionen in Form von Szenarien gegenübergestellt werden. In den Szenarien können immer nur bedingte Aussagen getroffen werden, d.h. diese sind von den gewählten Randbedingungen und Annahmen abhängig.

Szenarien erzählen eine Geschichte, indem sie denkbare künftige Entwicklungen beschreiben. Dies erfolgt zumeist in idealtypischer Form, um die Szenarien klar gegeneinander abzugrenzen. Besonderer Wert wird darauf gelegt, dass die in den Szenarien dargestellten Handlungspfade in sich konsistent und plausibel modelliert sind, um innere Widersprüche und Kombinationen von Entwicklungen, die sich ausschließen (z.B. hohe Anteile Biomasseheizungen in einem gleichzeitig wenig effizienten Gebäudepark jenseits der Verfügbarkeitsgrenze der Biomasse) zu vermeiden. Anhand der späteren Auswertung der Szenarien soll schließlich geklärt werden, mit welchen Maßnahmenkombinationen die langfristigen Ziele der Energieautonomie Vorarlbergs und des internationalen Klimaschutzes erreicht werden können. Hierfür wurden vier Hauptszenarien modelliert (siehe auch Tab. 1.1).

Status-quo-Szenario

Im Status-quo-Szenario werden die energetischen Qualitäten (Neubau und Sanierung) auf dem Stand des Jahres 2010 „eingefroren“ und unverändert in der Zukunft fortgeführt. Die Mengenkompenten (z.B. Bevölkerung, Wohnflächen) werden jedoch, wie in den anderen Szenarien auch, weiterentwickelt. Das Status-quo-Szenario dient aus methodischer Sicht als Referenz und Eichmaßstab für die erzielten Effizienzsteigerungen und die Dekarbonisierungserfolge in den anderen Szenarien.

Business-as-usual-Szenario

In diesem Szenario werden nicht nur die heute zu beobachtenden Entwicklungen weitergeführt, sondern es werden mo-

Szenario	Heizwärme / Heizung	Warmwasser	Lüftung	Haushaltsgeräte
Status quo	Spezifischer Nutzenergiebedarf, Heiz- und Stromstruktur sowie energetische Qualität auf dem Stand von 2010, Mengenkomponenten (z.B. Wohnflächen, Haushalte) jedoch wie in allen anderen Szenarien			
Business as usual	Energetische Verbesserungen orientieren sich an der bisherigen Entwicklung (z.B. leichte Verschärfung OIB und BTV alle 3-4 Jahre für Neubau und Sanierung), Stromerzeugung gemäß Szenario "WEM" (AEA 2015)			
	Moderate Effizienzverbesserungen		Wärmerückgewinnung (WRG): Anteil wie bisher	Moderate Effizienzverbesserungen
Effizienz	Energetische Qualitäten 2020: Orientierung am Kostenoptimum in Neubau (vgl. KliNaWo-Studie) und bei Sanierung (EnerPhit-Standard); Ausstieg Ölheizungen bis 2060; Stromerzeugung gemäß Szenario "WAW" (AEA 2015)			
	Ab 2020: Energetisch gleichwertig mit Passivhaus	Wassersparende Armaturen, WW- Anschlüsse	Ab 2020: vermehrt Lüftungsanlagen mit WRG	Ausstattung mit effizienten Geräten und Leuchtmitteln
Effizienz Plus	Wie Effizienzscenario, Berücksichtigung von absehbaren technologischen Verbesserungen bei allen Bau-und Technikkomponenten; entspricht vermutlich dem Kostenoptimum ab 2030/2040; Ausstieg Ölheizungen 2050; Stromerzeugung gemäß Szenario "WAM+" (AEA 2015)			
	Hocheffiziente Heizsysteme mit stark reduzierten Verteil- und Speicherverlusten	Dusch-WW-WRG Dentrale Systeme im Geschosswohnungsbau	bis 2070: Anteil von 50 % der Lüftungen mit WRG und hocheffizienten Ventilatoren	Hocheffiziente Ausstattung bei allen Elektrogeräten und integriertes Lastmanagement

Tabelle 1.1:
Kurzcharakterisierung der vier Hauptszenarien gemäß den Hauptanwendungsfeldern Heizung, Warmwasser, Lüftung und Haushaltsgeräte.

Der Ausstieg aus den Ölheizungen bedeutet konkret, dass ca. 25 - 30 Jahre zuvor keine neue Ölheizungen mehr im Neubau und bei Instandsetzungen bzw. Erneuerungen im Bestand eingebaut werden dürfen; im Effizienz-Szenario gilt dies demnach ab spätestens 2035 und im Effizienz-Plus-Szenario spätestens ab 2025.

derate Reaktionen der Wirtschaft, Gesellschaft und Politik auf künftige Problemstellungen miteinbezogen. Die gesetzlichen Regelungen (z.B. OIB, BTV) werden alle 3-4 Jahre leicht verschärft. Die Stromerzeugung orientiert sich an dem „WEM“-Szenario der Austrian Energy Agency (AEA 2015), in dem die aktuell durchgeführten und verabschiedeten Maßnahmen abgebildet sind.

Effizienz-Szenario

In diesem Zielszenario orientieren sich die modellierten energetischen Verbesserungen an dem Kostenoptimum der Lebenszykluskosten, das in entsprechenden Studien zum Wohnbau in Vorarlberg detailliert ermittelt wurden. Dies betrifft sowohl die Gebäude selbst als auch die Wärmeversorgungssysteme. Die

energetische Güte ist gleichwertig zum Passivhauskonzept, ohne hierbei die Kriterien im Einzelnen strikt einhalten zu müssen. Die Stromerzeugung wurde gemäß dem „WAM“-Szenario der Austrian Energy Agency (AEA 2015) modelliert, das sich an der Energiestrategie Österreichs und dem Klimaschutzgesetz orientiert.

Effizienz-Plus-Szenario

Neben den Maßnahmen des Effizienz-Szenarios werden hier Technologieentwicklungen miteinbezogen, die derzeit nur in Form theoretischer Studien vorliegen oder als Prototypen bzw. Sonderlösungen realisiert sind. Die Beobachtungen der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass diese Entwicklungen i.d.R. viel schneller und durchgreifender erfolgen, als zunächst

vermutet. Daher besteht Grund zu der Annahme, dass die hier beschriebenen Qualitäten und Neukomponenten tatsächlich in einigen Jahren zur Verfügung stehen und nach und nach wirtschaftlich eingesetzt werden können. Im Hinblick auf die Stromerzeugung wurde das Szenario „WAM +“ der Austrian Energy Agency (AEA 2015) verwendet, in dem ab 2020 Maßnahmen getroffen werden, um einerseits eine Reduktion des Strombedarfes herbeizuführen und andererseits eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erreichen.

Modellierung der Gebäudetypologie

Der Wohngebäudepark Vorarlbergs wird über insgesamt 70 Gebäudetypen abgebildet. Diese stellen „Repräsentanten“ dar, die die individuelle Vielfalt der Einzelgebäude bestimmten Klassen und Gruppen zuordnet. Dabei werden die charakteristischen geometrischen und energetischen Eigenschaften in aussagekräftige Mittelwerte umgeformt, die dann den späteren Berechnungen zugrundeliegen:

- Der vorhandene Gebäudebestand wird nach Baualter, Eingriffsempfindlichkeit (strategische Gruppen) und Gebäudetyp (Ein- und Zweifamilienhäuser sowie kleine, mittlere und große Mehrfamilienhäuser) in Klassen eingeteilt.
- Für den Neubau werden in 10-Jahresschritten typische Ein- und Mehrfamilienhäuser modelliert.
- Die Gebäudegeometrie, Orientierung und Dachform werden variiert, um die vorhandene bauliche Vielfalt des Wohngebäudeparks angemessen darzustellen.

Kohortenmodell

Die insgesamt 70 Gebäudetypen durchlaufen im Kohortenmodell einen typischen Lebenszyklus, in dem gemäß den vorgegebenen Nutzungsdauern für alle Bau- und Technikkomponenten Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen durchgeführt werden. Wie schon das Wort „Kohorte“ ausdrückt, wird der gesamte Wohngebäudepark innerhalb des Betrachtungszeitraums im Hinblick auf die dadurch ausgelösten Veränderungen des energetischen Zustands beobachtet bzw. modell-

haft abgebildet. Ein derartiges Modell hat den Vorteil, dass die komplexe Gesamtentwicklung über einen großen Zeitraum als Aufeinanderfolge vieler individueller Einzelschritte nachvollziehbar bleibt. Damit ist es möglich, gleichzeitig die Trägheit aber auch die Dynamik des Gesamtsystems zu beschreiben. Das Modell weist ein hohes Maß an Transparenz auf, weil jeder Einzelschritt in seinen Auswirkungen auf das Gesamtsystem abgebildet wird und an jeder Stelle konkret benannt werden kann.

Energetische Qualitäten (Gebäudehülle und Lüftung)

Für die Gebäudehülle (Außenwand, Fenster, Dach, Kellerdecke) und die Lüftung werden szenarioabhängig Qualitäten definiert, die immer dann zum Zuge kommen, wenn ein Neubau oder eine entsprechende energetische Sanierungsmaßnahme bei einem der 70 Gebäudetypen ansteht. Die Anforderungen werden stufenweise vom Status-quo- über das Business-as-usual- und Effizienz- bis hin zum Effizienz-Plus-Szenario immer anspruchsvoller. Zusätzlich steigen die Qualitäten im Betrachtungszeitraum allmählich an. In Tab. 1.2 sind die entsprechenden Werte für den Ausgangszustand zusammengestellt, und in Tab. 1.3 für das EffizienzszENARIO auch die Werte für die weitere Entwicklung ab 2010. Im EffizienzszENARIO orientieren sich dabei die Werte für das Jahr 2020 im Neubau am Kostenoptimum der KliNaWo-Studie (EIV 2016) und bei der Sanierung am Kostenoptimum eines Sanierungsprojekts in Deutschland, das dem EnerPhit-Standard entspricht (Ploss 2017).

Energetische Qualitäten (Wärme- und Stromerzeugung)

Analog wird bei der Wärmeerzeugung (z.B. Heizung, Warmwassererzeuger) und bei der Stromerzeugung (z.B. Kraftwerkspark inkl. Heizkraftwerke und BHKW's) verfahren. Es wurden szenarioabhängige Annahmen zum Energieträgermix und zur energetischen Qualität der Systeme zusammengestellt. Letztere wird über einfache Kennwerte ausgedrückt (z.B. Jahresnutzungsgrad der Strom- und Wärmeversorgung inkl. Erzeugung, Speicherung und Verteilung) und zeitabhängig variiert.

Ausgangszustand		U-Werte Ausgangszustand 2010 in allen Szenarien [W/m²K]							
Strategische Gruppe		Dach		Außenwand		Kellerdecke		Fenster	
Baudenkmale	EFH	1,0		1,2		1,0		2,4	
	MFH	0,7		1,0		1,0		2,4	
		bis 1980	ab 1980	bis 1980	ab 1980	bis 1980	ab 1980	bis 1980	ab 1980
Bestand	EFH	0,8 - 0,3	0,3 - 0,2	1,0 - 0,6	0,45 - 0,25	1,0 - 0,8	0,6 - 0,25	2,3 - 2,0	1,8 - 1,2
	MFH	0,7 - 0,6	0,6 - 0,2	0,9 - 0,6	0,5 - 0,25	1,0 - 0,7	0,6 - 0,25	2,3 - 2,0	1,8 - 1,2
Neubau		0,18 - 0,09		0,2 - 0,1		0,3 - 0,16		1,0 - 0,7	
		0,18 - 0,09		0,2 - 0,1		0,3 - 0,16		1,0 - 0,7	

Tabelle 1.2:
Zusammenstellung der U-Werte der Hüllflächen im Ausgangszustand 2010, differenziert nach Baudenkmalen/bedingt sanierbaren Bestandsbauten, voll sanierbarem Bestand und Neubau. Zusätzlich wird zwischen Einfamilienhäusern (EFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) unterschieden.

Bauteil	U-Werte Neubau ohne Wärmebrücken-Zuschlag im Effizienz-Szenario [W/m²K]			
	2020	2030	2040	2050
Wände	0,12	0,12	0,11	0,09
Dach	0,09	0,08	0,08	0,08
Kellerdecke	0,15	0,15	0,15	0,15
Fenster	0,80 (g=0,53)	0,80 (g = 0,53)	0,80 (g = 0,55)	0,75 (g = 0,55)
WB-Zuschlag	0,03	0,03	0,03	0,02
HWB Ref, SK [kWh/m²a]				
EFH_I (A/V = 0,75)	32,0	31,4	30,3	26,9
GWB_I (A/V = 0,39)	20,9	20,8	20,3	18,2

Tabelle 1.3
Zusammenstellung der U-Werte der Hüllflächen im Effizienz-Szenario in 10-Jahres-Schritten 2020 - 2050. Dargestellt sind die Werte für den Neubau (oben) und für den voll sanierbaren Bestand (unten). Es wird erkennbar, wie sich die Anforderungen allmählich in Richtung geringerer U-Werte bewegen.

Bauteil	U-Werte Sanierung ohne Wärmebrücken-Zuschlag im Effizienz-Szenario [W/m²K]			
	2020	2030	2040	2050
Wände	0,25	0,20	0,16	0,14
Dach	0,19	0,15	0,13	0,11
Kellerdecke	0,29	0,28	0,25	0,21
Fenster	0,95 (g = 0,55)	0,95 (g = 0,55)	0,9 (g = 0,55)	0,85 (g = 0,55)
WB-Zuschlag	0,05	0,05	0,05	0,04
HWB Ref, SK [kWh/m²a]				
EFH_I (A/V = 0,75)	58,2	50,0	42,9	37,6
GWB_I (A/V = 0,39)	33,4	29,6	25,8	23,2

Zur Veranschaulichung sind die resultierenden Heizwärmebedarf-Kennwerte für ein typisches Einfamilienhaus (EFH_I) und ein typisches Mehrfamilienhaus (GWB_I) aufgeführt.

- ◇- Bevölkerung
- Haushalte
- ▲- Wohnfläche

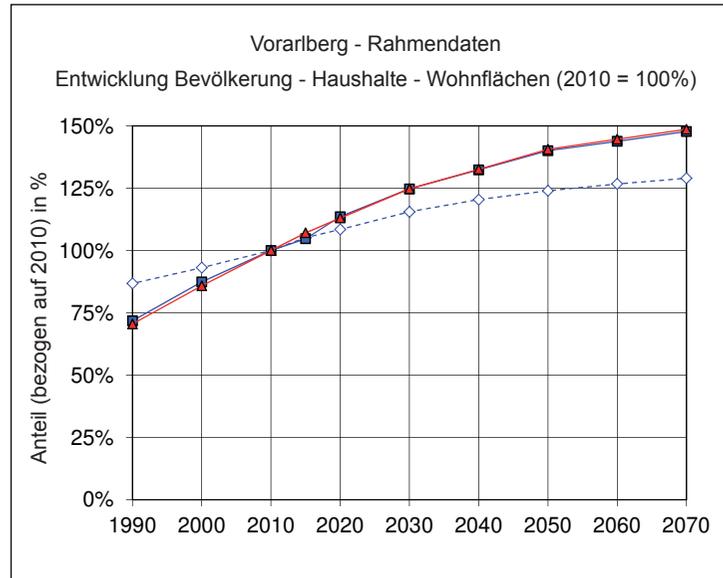


Abbildung 1.4
Relative Entwicklung der Bevölkerung, der Haushalte und der Wohnflächen in Bezug zum Ausgangsjahr der Untersuchung 2010 (= 100%).
Quelle: (Statistik Austria 2016) und eigene Berechnungen.

- Neubau MFH ab 2010
- Neubau EFH ab 2010
- Bestand MFH
- Bestand EFH
- Bedingt sanierbarer Bestand

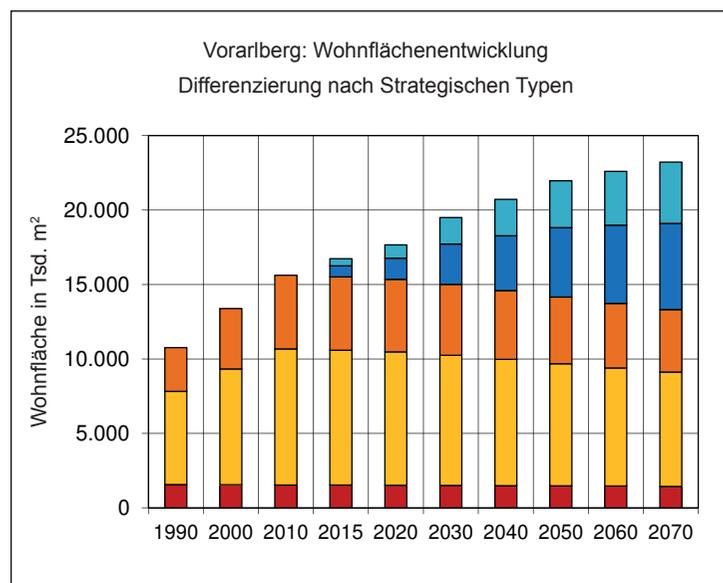


Abbildung 1.5
Entwicklung der Wohnflächen nach strategischen Typen in Vorarlberg 1990 - 2070. Der Abgang im Bestand ist an den kleiner werdenden Balken (rot, gelb, orange) erkennbar. Er wurde in allen Szenarien mit 0,33 % p.a. angenommen (vgl. Schremmel / Mollay / Moser 2014)

Wichtige Eck- und Rahmendaten

Als MengenkompONENTEN in den Szenarien sind vor allem die Bevölkerung, die Zahl der Haushalte und die Wohnflächen wirksam. Wie aus Abb. 1.4 ersichtlich, ergibt sich für alle drei Parameter ein stetiges Wachstum über den gesamten Betrachtungszeitraum. Gegenüber dem Stand 2010 steigt die Bevölkerungszahl bis 2050 um knapp 25 %, während die Haushalte und Wohnflächen in diesem Zeitraum um 40 % zunehmen. Diese Zuwächse sind bei der Auswertung der Ergebnisse jeweils mitzudenken. Sie stellen einen bedeutenden „Antrieb“ für den Energiebedarf und die resultierenden Emissionen dar.

Bei der Wohnflächenentwicklung ist ein zusätzlicher Aspekt zu beachten. Durch den Abriss und die Umnutzungen von Bestandgebäuden kommt es zu einem regelmäßigen Abgang, der wie auch der zusätzliche Wohnflächenbedarf durch Neubauten gedeckt werden muss. Dies wird in Abb. 1.5 an den sinkenden Wohnflächen aller Bestandsgebäude ab dem Jahr 2010 sichtbar.

1.4 Zentrale Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung zusammengestellt, die dann die Grundlage für die Handlungsempfehlungen im nächsten Abschnitt bilden. Der Fokus liegt auf dem Vergleich zwischen den Ergebnissen der Szenarien und den Effizienzzielen der EU bzw. der Energieautonomie Vorarlberg sowie den verbindlichen Klimaschutzzielen der COP-Konferenz in Paris 2016.

Entwicklung des Heizwärmebedarfs

Hierbei überlagern sich zwei Effekte (siehe Abb. 1.6): Einerseits steigen die Wohnflächen im Betrachtungszeitraum kontinuierlich an, andererseits sinkt in allen Szenarien der spezifische Jahresheizwärmebedarf des Gesamtbestandes stetig, wenn auch unterschiedlich stark. Nur mit den hohen energie-

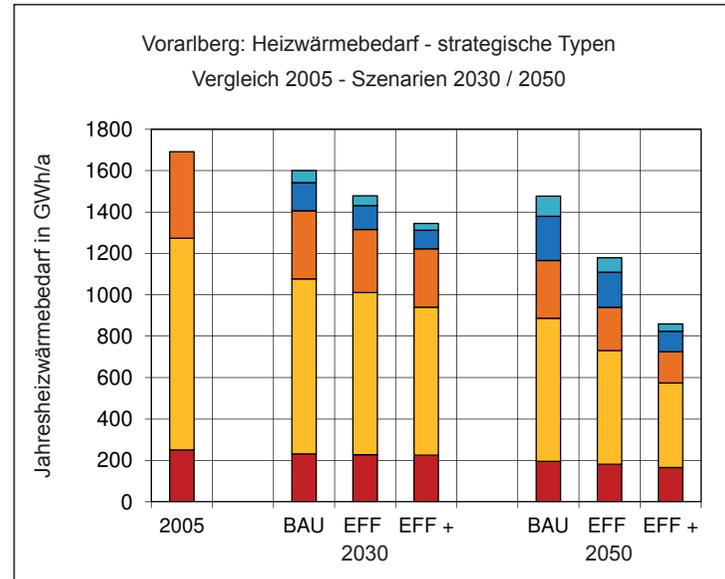
tischen Qualitäten, wie sie in den Effizienzscenarien zugrunde gelegt sind, gelingt eine spürbare Reduktion des gesamten Heizwärmebedarfs 2005 - 2050 von 1700 GWh/a auf 1180 bzw. 860 GWh/a. Werden hingegen nur mittlere energetische Qualitäten eingesetzt, wie dies im Business-as-usual-Szenario (BAU) der Fall ist, wird mit 1500 GWh/a nur eine geringe Minderung erreicht.

Die wesentlichen Reduktionsbeiträge werden im voll sanierbaren Bestand erzielt, während aufgrund der hohen Eingriffsempfindlichkeit der bedingt sanierbare Bestand quasi einen „Sockel“ bildet. Die Bedarfswerte der künftigen Neubauten sind ebenfalls von großer Bedeutung. Nur so stellt der zu erwartende zusätzliche Wohnflächenbedarf die Effizienzstrategie in diesem Kernfeld der Energieautonomie nicht in Frage.

Entwicklung des Endenergiebedarfes

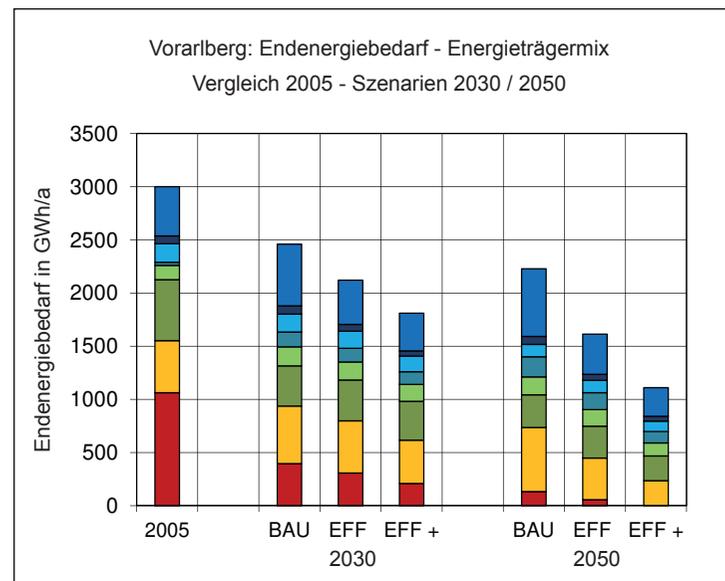
Von 1990 bis 2005 steigt der gesamte Endenergiebedarf zunächst auf etwa 3000 GWh/a an. Im Status-quo-Szenario verharren die Werte anschließend auf diesem hohen Niveau. Im Business-as-usual-Szenario ergibt sich nur eine geringe Minderung der Bedarfswerte, die im Jahr 2030 bei 2460 GWh/a und im Jahr 2050 bei 2230 GWh/a zu liegen kommen. Nur in den Effizienzscenarien kann eine deutliche Reduktion der gesamten Endenergie erreicht werden. Die entsprechenden Kennwerte betragen im Effizienzscenario 2120 GWh/a (2030) und 1610 GWh/a (2050) sowie im Effizienz-Plus-Szenario 1810 GWh/a (2030) und 1110 GWh/a (2050).

Zugleich ergeben sich wesentliche Unterschiede im Hinblick auf den Ausbau der erneuerbaren Energien. Im Business-as-usual-Szenario liegt deren Anteil bei etwa 50 %, während im Effizienzscenario etwa 65 % erreicht werden. Nur im Effizienz-Plus Szenario gelingt es mit einem Anteil von ca. 80 % bis 2050 eine weitgehende Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern zu erreichen. Dafür sind vor allem die erreichten Effizienzfortschritte ausschlaggebend.



- Neubau MFH ab 2010
- Neubau EFH ab 2010
- Bestand MFH
- Bestand EFH
- Bedingt sanierbarer Bestand

Abbildung 1.6
Entwicklung des Jahresheizwärmebedarfs in GWh/a, differenziert nach den strategischen Typen. Vergleich der Werte von 2005 mit denen der Jahre 2030 und 2050 im Business-as-usual- (BAU), im Effizienz- (EFF) und im Effizienz-Plus-Szenario (EFF +).

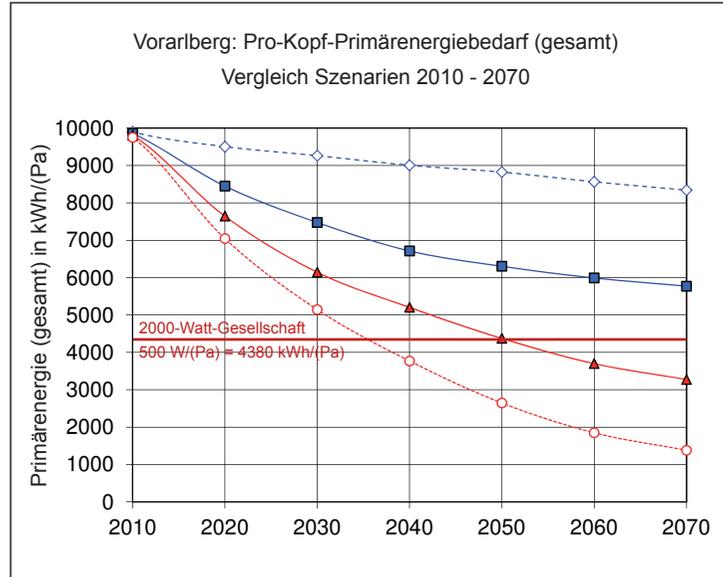


- Haushaltsstrom
- Hilfsstrom
- Strom-direkt
- Strom - Wärmepumpen
- Fern-/Nahwärme
- Biomasse
- Erdgas
- Heizöl

Abbildung 1.7
Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern in GWh/a. Vergleich der Werte von 2005 mit denen der Jahre 2030 und 2050 im Business-as-usual- (BAU), im Effizienz- (EFF) und im Effizienz-Plus-Szenario (EFF +).

- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 1.8
Entwicklung des Pro-Kopf-Primärenergiebedarfs in kWh/(Pa) in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 2010 - 2070. Zum besseren Vergleich ist das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft für die privaten Haushalte (500 W/(Pa) bzw. 4380 kWh/(Pa) als rote Linie eingetragen. Dieses Ziel wird nur in den Effizienz-szenarien erreicht.

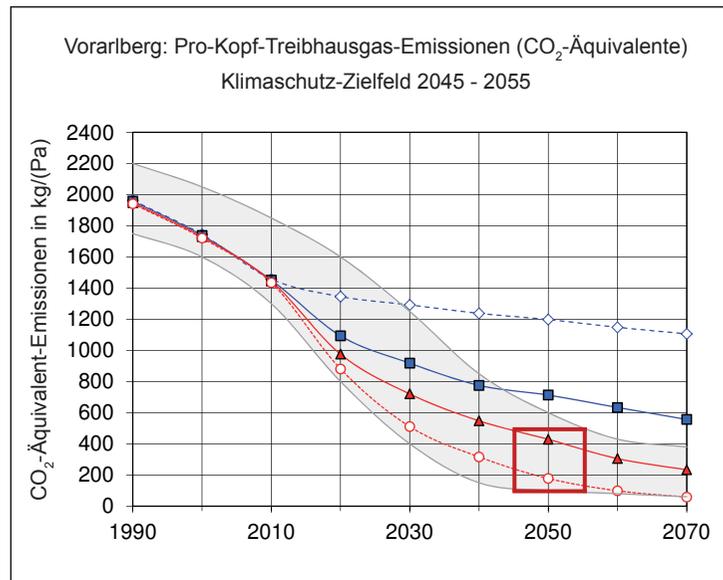


Entwicklung des Primärenergiebedarfes

Am Primärenergiebedarf werden die gesamten Energieaufwendungen inklusive der vor- und nachgelagerten Energieketten (z.B. Exploration, Förderung, Transporte, Aufbereitung, Herstellung Kraftwerkpark bzw. Heizzentralen und Entsorgung) zusammengeführt. An den Pro-Kopf-Werten (Abb. 1.8) wird sichtbar, dass die Energieintensität des Wohngebäudeparks in allen Szenarien abnimmt, jedoch in unterschiedlichem Tempo. Interessant ist in diesem Zusammenhang der Bezug zu den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft, einem gut etablierten Effizienzkonzept aus der Schweiz. Ordnet man aus Gründen der Vereinfachung den privaten Haushalten ein Viertel, d.h. 500 Watt als weltweit verträgliche Dauerleistung pro Person zu, ergibt sich ein Zielwert von 4380 kWh/(Pa). Er wird im Effizienz-Szenario ziemlich exakt im Jahr 2050 erreicht. Im Effizienz-Plus-Szenario kann dieses Ziel bereits im Jahr 2036 eingehalten werden. Im Business-as-usual-Szenario liegt dieses Ziel jedoch zeitlich in weiter Ferne.

- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus
- Klimaschutz-Korridor
- Klimaschutz-Zielfeld

Abb. 1.9
Entwicklung der Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen in kg/(Pa) CO₂-Äquivalenten in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 1990 - 2070 und deren Bezug zum sog. Klimaschutz-Zielfeld 2045 - 2055, wie in (Kern 2016) entwickelt. Nur die Effizienz-szenarien stehen in Übereinstimmung mit dem 2-Grad-Ziel der Pariser Klimakonferenz.



Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Die klimawirksamen Emissionen des Wohngebäudeparks werden ebenfalls als Pro-Kopf-Werte dargestellt, weil diese einen belastbaren Maßstab für die globalen Klimaschutzziele bilden (Abb. 1.9). In dieser Untersuchung wird daher Bezug zu einer Studie genommen, die anhand eines Vergleichs verschiedener Gerechtigkeitsmodelle die zulässigen, mit dem 2-Grad-Ziel übereinstimmenden Pro-Kopf-Emissionen als Zielfeld definiert (vgl. Kern 2016). Für die privaten Haushalte ergeben sich personenbezogene CO₂-Äquivalent-Emissionen zwischen 100 und 500 kg/(P*a). Die Güte eines Klimaschutzkonzeptes zeigt sich darin, wie die Minderungspfade in das Zielfeld „eintauchen“: Das Business-as-usual-Szenario gelangt nicht einmal in die Nähe des Zielfeldes und scheidet somit als Klimaschutzpfad aus. Nur mit den Effizienz-szenarien kann der Nachweis einer mit dem 2-Grad-Ziel übereinstimmenden Entwicklung geführt werden. Ein überzeugendes Klimaschutzkonzept wird im Grunde nur im Effizienz-Plus-Szenario verwirklicht.

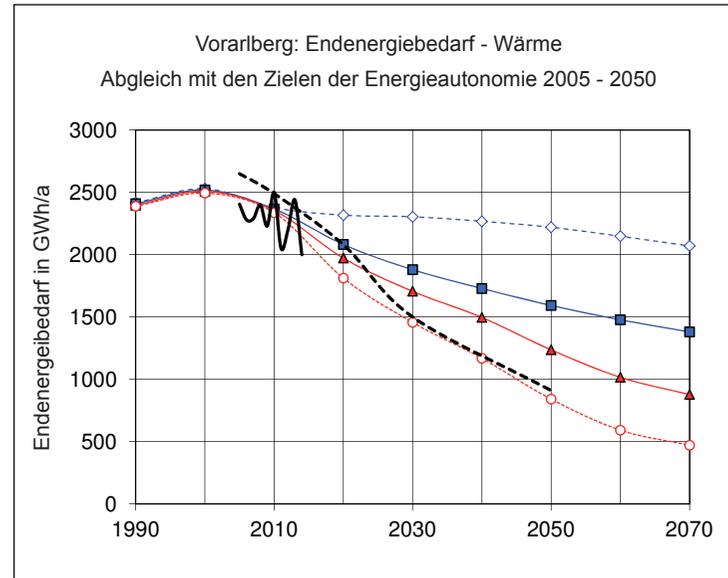
Vergleich der Szenarienergebnisse mit den Zielen der Energieautonomie Vorarlberg

Abschließend sollen nun die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit den Zielen der Energieautonomie Vorarlberg abgeglichen werden (Abb. 1.10 und 1.11).

In Bezug auf die Wärmeanwendungen in den privaten Haushalten ergibt sich in der ersten Umsetzungsperiode bis 2020 eine gute Übereinstimmung mit der Entwicklung des Effizienz-Szenarios. Anschließend werden die Zielwerte nur in dem strengeren Effizienz-Plus-Szenario erreicht, bei dem eine konsequente Effizienzstrategie mit einem Ausstieg aus der fossilen Wärmeerzeugung gekoppelt ist. An den Ergebnissen des Monitorings der Jahre 2005 - 2014 wird sichtbar, dass die tatsächlichen Verbrauchswerte von Jahr zu Jahr deutlich schwanken. Im Mittel werden die Verbrauchswerte durch die modellierten Bedarfswerte in den Szenarien jedoch gut wiedergegeben.

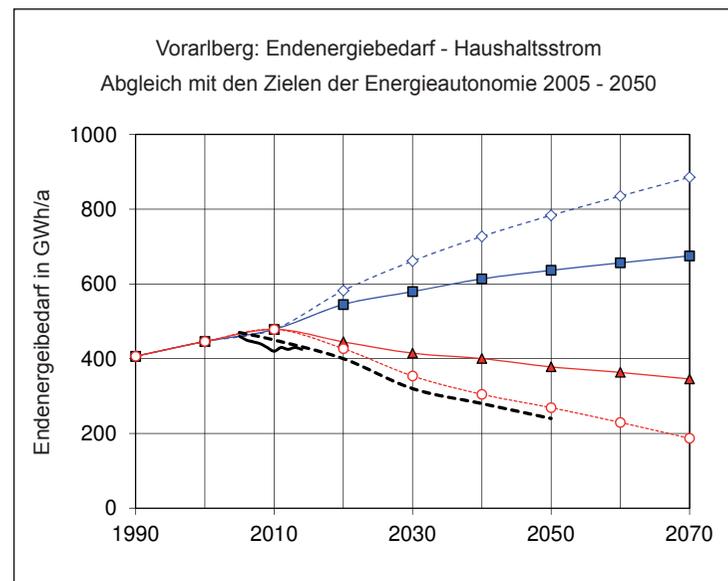
Beim Haushaltstrom kann eine Zielerfüllung ebenfalls nur im Effizienz-Plus-Szenario nachgewiesen werden. Allerdings liegen hier die Rechenwerte der Szenarien im Zeitraum des Monitorings 2005 - 2014 etwas über den Rechenwerten in den Szenarien. Gleichwohl wird deutlich, dass die Stromeffizienz ein wesentlicher Bestandteil in der Gesamtstrategie ist und besonderer Aufmerksamkeit bedarf. Dies vor dem Hintergrund, dass in Zukunft neue Anwendungsbereiche (z.B. Elektromobilität, Wärmepumpenheizungen) zu den jetzt etablierten Stromanwendungen hinzukommen. Ohne eine konsequente Effizienzsteigerungen bei den klassischen und den neuen Anwendungen würde ansonsten die Problematik der Winterlücke nicht geringer werden, sondern sich sogar deutlich verschärfen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ziele der Energieautonomie mit den Effizienzsznarien zuverlässig erreicht werden können und gut mit den Klimaschutzzielen sowie den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft übereinstimmen.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus
- Monitoring Energieautonomie
- - - Ziele Energieautonomie

Abbildung 1.10
Entwicklung des Endenergiebedarfs für Wärme der privaten Haushalte Vorarlbergs (1990 - 2070) in den verschiedenen Szenarien. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse sind die Ziele der Energieautonomie 2005 - 2050 angegeben. Zusätzlich sind die Ergebnisse des Monitorings der Energieautonomie aus den Jahren 2005 - 2014 aufgetragen.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus
- Monitoring Energieautonomie
- - - Ziele Energieautonomie

Abbildung 1.11
Entwicklung des Endenergiebedarfs für Haushaltsstrom in allen Wohngebäuden Vorarlbergs (1990 - 2070) in den Szenarien. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse sind die Ziele der Energieautonomie 2005 - 2050 mit angegeben. Zusätzlich sind die Ergebnisse des Monitorings der Energieautonomie aus den Jahren 2005 - 2014 aufgetragen.

Handlungsfeld	Kurzbeschreibung der Effizienz-/Klimaschutzmaßnahmen (Nutzenergie)	Kurzbeschreibung der Effizienz-/Klimaschutzmaßnahmen (Versorgungssysteme)
Raumwärme	<p>Neubau ab 2020: gemäß Kostenoptimum KliNaWo</p> <p>Bestand ab 2020: energetische Sanierung mit Passivhauskomponenten (z.B. EnerPhit-Standard)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hochwärmegedämmte Hüllkonstruktionen - Passivhausfenster - Luftdichte und wärmebrückenfreie Konstruktionen - Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung 	<ul style="list-style-type: none"> - Zurückdrängen von Heizsystemen mit fossilen Energieträgern (Heizöl, Erdgas) - Ausbau von Heizsystemen mit erneuerbaren Energieträgern (z.B. Wärmepumpen, Biomasse) - Wirkungsgradsteigerungen bei allen Heizsystemen (Reduzierung der Energieverluste bei Wärmeerzeugung, -speicherung und -verteilung) - Ausbau Kraft-Wärme-Kopplung (ab 2030: EE-Methan) - Zurückdrängen direktelektrischer Heizungen
Warmwasser	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz wassersparender Armaturen und Geräte - Einsatz von Geräten mit Warmwasseranschluss - Duschwasser-Wärmerückgewinnung 	wie: Raumwärme
Stromanwendungen	<ul style="list-style-type: none"> - Ausstattung mit stromeffizienten Haushaltsgeräten und sonstigen Elektrogeräten in den Haushalten - Stromsparende Kochherde (bzw. Kochen mit Gas) - Stromsparende Beleuchtung - Reduzierung von stand-by und Stillstandsverlusten - Lastmanagement (Geräte, Elektromobilität) - Reduzierung des Hilfsstromeinsatzes (Pumpen, Antriebe, Ventilatoren, Steuerungen) 	<ul style="list-style-type: none"> - Zurückfahren der Stromerzeugung mit fossilen Energieträgern (Kohle, Heizöl) - Kraft-Wärme-Kopplung (ab 2030: EE-Methan) - Ausbau der Stromerzeugung mit erneuerbaren Energieträgern (z.B. Wind- und Wasserkraft, Biomasse, Solarstrom und Erzeugung von EE-Methan) - Wirkungsgradsteigerungen bei der Stromerzeugung im gesamten Kraftwerkspark und bei der Stromverteilung

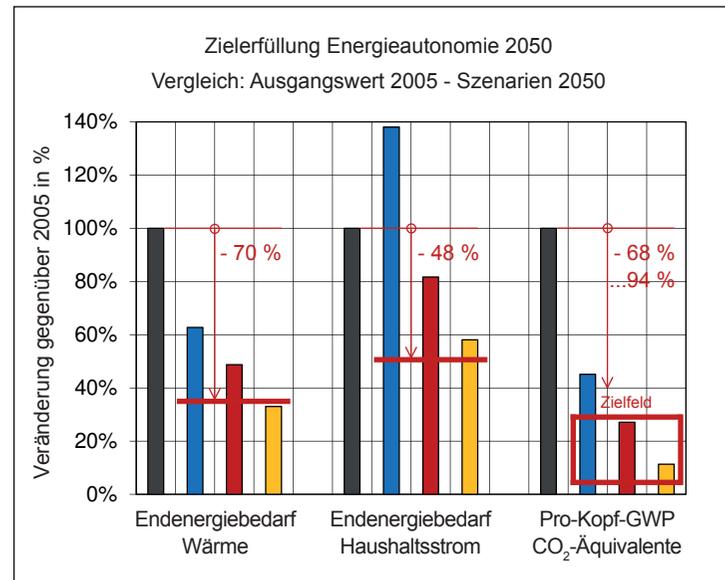
Tabelle 1.4: Kurzübersicht über die wesentlichen Effizienz- und Klimaschutzstrategien in den Effizienzscenarien nach Handlungsfeldern.

1.5 Handlungsempfehlungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen können nun im Hinblick auf die Erfüllung der Zielsetzungen der Energieautonomie Vorarlberg als Handlungsempfehlungen dargelegt werden.

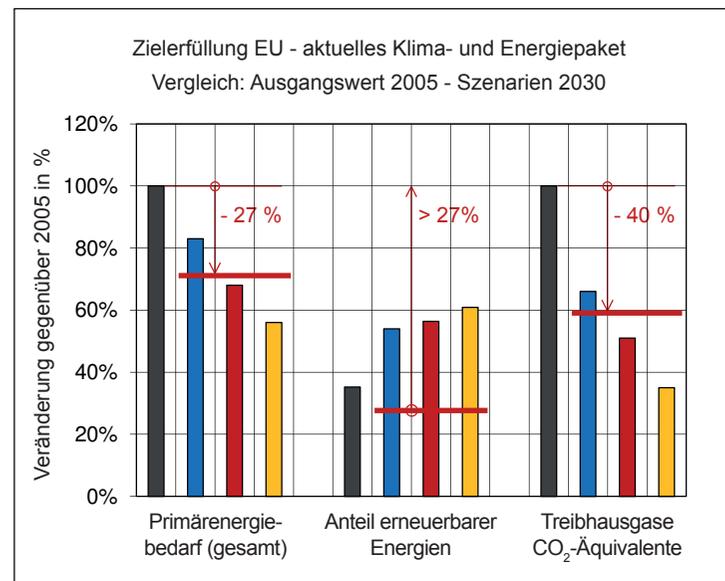
In einer Kurzübersicht (siehe Tab. 1.4) sind die wichtigsten Einzelstrategien der Effizienzscenarien für die Handlungsfelder Raumwärme/Lüftung, Warmwasser und Stromanwendungen zusammengestellt. Dabei wird zwischen der Nutzenergieebene und den Versorgungssystemen unterschieden. Für die Gesamtstrategie ist es entscheidend, die Einzelmaßnahmen sinnvoll miteinander zu verbinden und dabei die jeweils wirtschaftlich günstigen Kombinationen auszuwählen. Diese Art des Vorgehens wurde z.B. bei der Kostenoptimalitätsstudie KliNaWo (EIV 2016) systematisch angewendet. In zwei zusammenfassenden Darstellungen werden nun abschließend die Zielerfüllung der Szenarien im Hinblick auf die Energieautonomie Vorarlberg (Abb. 1.12) und auf das aktuelle Klima- und Energiepaket der Europäischen Union (Abb. 1.13) aufgezeigt.

Die Ziele der Energieautonomie Vorarlberg können unter den Randbedingungen der Effizienzscenarien nahezu vollumfänglich nachgewiesen werden. Hierbei ist es in der ersten Phase 2020-2030 durchaus vertretbar, zunächst dem Effizienzscenario zu folgen um erst nach 2030 auf die etwas strengeren Anforderungen im Effizienz-Plus-Szenario zu wechseln. Hier ist wahrscheinlich hilfreich, dass bis dahin die energetischen Qualitäten des Effizienz-Plus-Szenarios das Kostenoptimum darstellen werden. Unter den Bedingungen des Business-as-usual-Szenarios werden hingegen die Energieautonomieziele deutlich verfehlt. Zudem ist erkennbar, dass im Teilbereich der Stromeffizienz u.U. noch Handlungsbedarf besteht. Perspektivisch wird die Bedeutung dieses Handlungsfeldes eher zunehmen, weil der Strombedarf in den Effizienzscenarien durch das starke Absinken des Raumwärmebedarfs anteilig an Bedeutung gewinnt. Zu beachten ist hier auch die Kopplung mit an-



■ Ausgangswert 2005
■ Business-as-usual 2050
■ Effizienz 2050
■ Effizienz-Plus 2050

Abbildung 1.12
Zielerfüllung der Szenarien in Bezug auf die Energieautonomie Vorarlberg im Zeitraum 2005 - 2050. Die Ziele sind im Diagramm als rote Linien bzw. als rotes Zielfeld eingetragen.



■ Ausgangswert 2005
■ Business-as-usual 2030
■ Effizienz 2030
■ Effizienz-Plus 2030

Abbildung 1.13
Zielerfüllung der Szenarien in Bezug auf das aktuelle EU Klima- und Energiepaket für den Zeitraum 2005 - 2030. Die Ziele sind im Diagramm als rote Linien eingetragen.

deren Sektoren, z.B. Mobilität und die künftigen Anforderungen an die Strombereitstellung (z.B. saisonale Speicher zur Überbrückung der Winterlücke, Lastmanagement).

Wie Abb. 1.13 aufzeigt, sind die Anforderungen des aktuellen Klima- und Energiepakets der EU deutlich geringer, als diejenigen der Energieautonomie. Sie sind insofern als Meilensteine für das Jahr 2030 im Sinne der Energieautonomie weniger geeignet.

„UND“ - anstelle „ODER“-Strategien

Zentrales Ergebnis der Untersuchung ist, dass es darauf ankommt, die **Effizienz- und Klimaschutzstrategien nicht gegeneinander auszuspielen, sondern sinnvoll miteinander zu kombinieren**. Der entscheidende Aspekt ist die Qualität der energetischen Maßnahmen im Sinne des Mottos „Wenn schon - denn schon“: Immer dann, wenn sich eine Gelegenheit bietet, sollte anstelle von Reparaturen oder Erneuerungen ohne energetische Verbesserung („Pinselsanierung“) oder Energiemaßnahmen mit nur mittlerer Qualität (z.B. Niedrigenergiekomponenten), eine hohe Qualität (z.B. Einsatz Passivhauskomponenten) ausgeführt werden. Neben einem zukunftsweisenden Wärmeschutz sind hier der Einsatz von hochwertigen Fenstern mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung und der Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung bzw. thermischen Solar- oder Fotovoltaikanlagen sowie die Ausstattung der Gebäude mit stromeffizienten Geräten und Beleuchtung notwendig. Das hängt u.a. auch damit zusammen, dass die Gelegenheiten für die jeweils wirtschaftlichen Maßnahmen ein eher knappes Gut darstellen. Werden sie nicht genutzt, werden die Maßnahmen auf eine spätere Generation mit doppelter Problemlage verschoben: Einerseits würden die Verbrauchswerte und Emissionen dann auf einem zu hohen Niveau liegen, mit entsprechend hohen Energiekosten je Wohnung. Andererseits werden spätere Generationen zu unwirtschaftlichen Maßnahmen gezwungen, wenn sie 40 oder 50 Jahre später doch noch die Ziele der Energieautonomie verwirklichen wollten.

Das Dilemma der mittleren Qualität

Werden, wie dies im Business-as-usual-Szenario der Fall ist, nur mittlere Qualitäten (d.h. in etwa auf dem Niveau heutiger Niedrigenergiehäuser) eingesetzt, so produziert man ein „Dilemma der mittleren Qualität“. Die damit im Neubau und bei energetischen Modernisierungen erzielbare Senkung des Heizwärmebedarfs reicht nicht aus, um die Ziele der Energieautonomie oder die des internationalen Klimaschutzes zu erreichen. Aufgrund der großen Trägheit des Wohngebäudeparks als energetisches System wird dieses Problem jedoch zu spät, d.h. erst ab 2030/40 erkennbar, um dann ggf. noch vernünftig gegensteuern zu können.

Wegen der langen Nutzungsdauern von 30 - 80 Jahren stellen die mittleren Qualitäten in erster Linie verpasste Gelegenheiten dar, die so schnell nicht wiederkehren. In zweiter Linie stellt sich darüber hinaus ein sog. „Lock-in-Effekt“ ein. Denn auch nach 20, 40 oder 60 Jahren kann keine Wirtschaftlichkeit für energetische Verbesserungen von mittlerer auf hohe Qualität (z.B. Erhöhung Wärmeschutz einer Außenwand von einem U-Wert von 0,25 W/m²K auf 0,15 W/m²K) erwartet werden. Das liegt an dem abnehmenden Grenznutzen der Maßnahmen (z.B. Dämmstärken - Wärmedurchgang) und daran, dass die Energiepreise nicht beliebig ansteigen werden (z.B. Deckelung künftiger Energiepreise auf dem heutigen Niveau erneuerbarer Energiesysteme).

Nicht zuletzt bleiben die mittleren Qualitäten oftmals hinter dem wirtschaftlichen Optimum zurück, d.h. bei einer Ausführung mit hohen Qualität wären weitere Gewinne im Hinblick auf die Lebenszykluskosten möglich gewesen. Keinesfalls zielführend ist hingegen das zeitliche Vorziehen von Maßnahmen, der vorzeitige Abriss von Bestandsgebäuden und deren Ersatz mit einem Neubau („Abrissprämie“) oder eine Erhöhung der Sanierungsrate über die übliche Erneuerungsrate von 1,5 - 2,0 % hinaus. Diese Vorschläge stehen im Widerspruch zum Kopplungsprinzip, verursachen hohe Rüstkosten und zerstören in letzter Konsequenz den Restwert der betreffenden Konstruktionen.

Handlungsempfehlungen in Kurzform

Die konkreten Handlungsempfehlungen können in Kurzform folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Im Neubau und bei energetischen Sanierungen sollte künftig die Gebäudehülle in Passivhausqualität ausgeführt werden. Diese entspricht dem Kostenoptimum hinsichtlich der Lebenszykluskosten.
- Im Neubau und Bestand sind Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung oder alternativ thermische Solar- oder Photovoltaikanlagen vorzusehen.
- Stromeffizienzsteigerungen bei allen Elektroanwendungen
- Langfristiger Ausstieg aus den fossilen Heizsystemen.
- Weitgehend erneuerbare Stromerzeugung, auch unter den erschwerten künftigen Bedingungen (zusätzliche Anwendungen wie Elektromobilität, saisonale Speicherung).

Nächste Schritte in Richtung Energieautonomie

Im Folgenden werden nun konkrete Vorschläge gemacht, wie die gesetzlichen Anforderungen und Fördermodelle in der Nahperspektive bis etwa 2020 angepasst werden sollten, damit sie im Sinne des Effizienzszenarios als Grundlage für die Verwirklichung der Energieautonomie dienen können. Sie orientieren sich grundsätzlich am Kostenoptimum für den Neubau und für die energetische Modernisierung im Bestand, wie sie in zwei Kostenoptimalitätsstudien des Energieinstituts Vorarlberg entwickelt wurden (vgl. EIV 2016 und Ploss 2017). Bei der Festlegung der Maßnahmen und Standards wurden folgende Grundprinzipien zugrundegelegt:

- Als Indikatoren für die Kennwerte dienen der Heizwärme- und der Primärenergiebedarf sowie die CO₂-Emissionen. Ergänzend werden für die energetische Sanierung im Bestand auch Bauteilqualitäten (z.B. in Form von U-Wert-Ensembles) angegeben.
- Die Progression der Förderung wird mit steigender energetischer Qualität verstärkt.
- Die Anforderungen an die Hüllqualität werden entsprechend dem Kostenoptimum der Lebenszykluskosten fest

gelegt. Dies ermöglicht höhere Anforderungen als bisher.

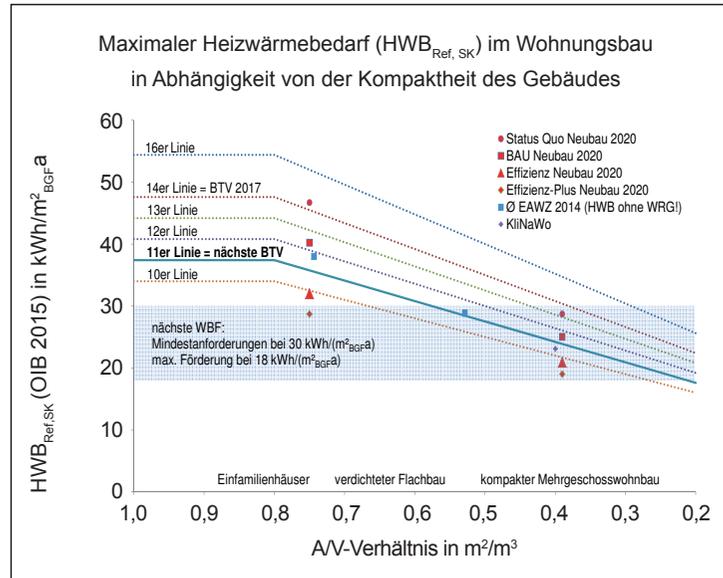
- Der Energieträgermix soll in Richtung CO₂-reduzierter und erneuerbarer Energieträger gelenkt werden.
- Nahwärmenetze mit Energieerzeugung aus heimischen erneuerbaren Energieträgern sollten in Gebieten mit hoher Wärmedichte weiter gefördert werden. Dabei ist besonderer Wert auf die Begrenzung der Verteilverluste zu legen (z.B. Verlegetechnik, Temperaturniveau, zusätzliche Wärmenutzung des Rücklaufs).
- Effiziente und schadstoffarme Biomasseheizungen werden vor allem im ländlichen Raum weiter gefördert.
- Wärmepumpen mit hoher Effizienz werden auch künftig gefördert. Hierbei sollten innovative Lösungsansätze (z.B. Direktverdampfertechnik, Kopplung von Wärmepumpen und Elektromobilität mit PV-Anlagen + Batteriespeicher) besondere Beachtung finden, z.B. als Sonderförderung.
- Der Einsatz von Komfortlüftungen mit Wärmerückgewinnung wird weiterhin gefördert. Hierbei sollte erwogen werden, die Fördersätze bei Mehrfamilienhäusern zu erhöhen, um die dort höheren Aufwendungen zu berücksichtigen (kleinere Wohneinheiten, Brand- und Schallschutz).
- Weiterhin Förderung des Ausbaus aktiv-solarer Systeme (Solarthermie, Photovoltaik und Hybridkollektoren).

Vorschlagswerte zur Gebäudehülle im Bestand

Für die Justierung der Anforderungen im Bereich der Gebäudehülle werden die folgenden Maßnahmen vorgeschlagen:

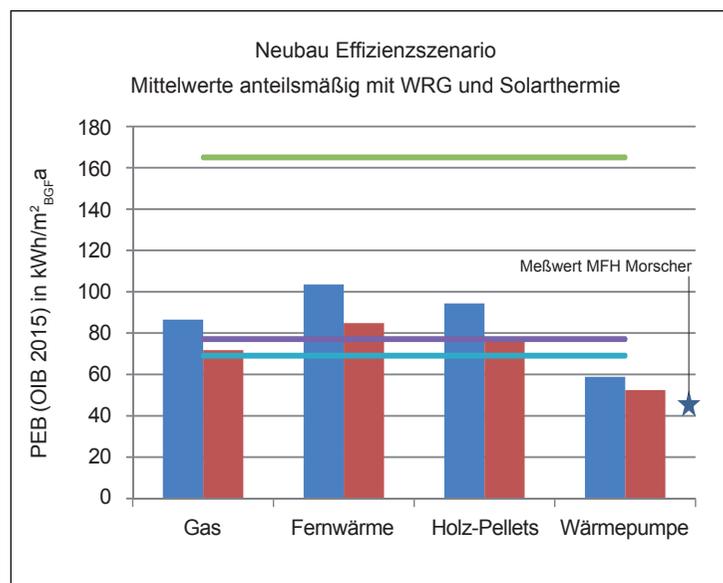
- Strengere Mindest-U-Werte in der Bautechnikverordnung (BTV) bei Sanierungen ab ca. 2020.
- Strengere Mindestanforderungen der Wohnbauförderung (WBF 2018 - Basisstufe) und höhere Förderung für die WBF-Bonusstufe. Diese Werte sind schon weitestgehend abgestimmt.
- Definition eines attraktiven Heizwärmebedarf-Bonus als Anreiz für umfassende Sanierungen.
- Mittelwert der U-Werte aller Sanierungen ab 2030 in etwa auf dem Niveau wie Basisstufe WBF 2018.

Abbildung 1.14
Justierungsvorschläge für $HWB_{Ref,SK}$
gemäß Bautechnikverordnung
BTV und Wohnbauförderung WBF
2018/19.



- Einfamilienhaus
- Mehrfamilienhaus
- BTV 2017
- EAWZ 2015 (korrigiert $f_{PE(OIB 2015)}$)
- Mittelwert Effizienzscenario

Abbildung 1.15
Mittelwerte des Primärenergiebedarfs gemäß (OIB-RL-6 2015)
nach Energieträgern im Vergleich zur Anforderung gemäß aktueller
Bauteilverordnung (BTV 2017).
Zum Vergleich ist der Messwert des Mehrfamilienhauses Morscher in
Unterstein-Langenegg aufgetragen
(siehe Text und Abb. 1.1)



- Mittelwert der U-Werte aller Sanierungen 2050 wie Bonusstufe WBF 2018 (oder Stufe 5 der derzeitigen Förderung).

Erste Vorschlagswerte für die U-Wert-Anforderungen bzw. die mittleren U-Werte aller Sanierungen sind in Tab. 1.5 zusammengestellt. Die genannten Anforderungen gelten für die Sanierung einzelner Bauteile. Zusätzlich zu den Anreizen der Wohnbauförderung (Basisstufe und U-Wert-Bonusstufe) wird eine attraktive Sonderförderung in Abhängigkeit vom Heizwärmebedarf (HWB -Bonus) festgelegt, mit dem die gekoppelte Sanierung mehrerer Bauteile zusätzlich gefördert wird, wenn ein noch zu definierender Wert erreicht oder unterschritten wird.

Vorschlagswerte zur Gebäudehülle im Neubau

Um im Mittel aller Neubauten (gefördert und nicht gefördert) die in den entsprechenden Studien ermittelten kostenoptimalen Heizwärme-Bedarfswerte zu realisieren, sollten bei der nächsten Überarbeitung der BTV und der WBF die in Abbildung 1.14 dargestellten Anforderungswerte festgelegt werden. Es wird ferner vorgeschlagen, die Mindestanforderung der nächsten BTV auf die 11er Linie festzulegen. Dieser Wert beschreibt eine Hüllqualität, die geringfügig schlechter ist, als die kostenoptimale Qualität und geringfügig besser, als die mittlere Qualität aller Gebäude des Baujahrs 2014 gemäß der aktuellen Energieausweisbewertung (EAWZ 2016).

Für die nächste Novellierung der Wohnbauförderung wird vorgeschlagen, die Mindestanforderung auf einen Heizwärmebedarfs-Kennwert $HWB_{Ref,SK}$ von $30 kWh/(m^2_{BGF} \cdot a)$ festzulegen und die höchste Förderung für $HWB_{Ref,SK}$ -Kennwerte von $18-20 kWh/(m^2_{BGF} \cdot a)$ zu vergeben. Mit diesen Festlegungen wäre für die nach den Novellierungen errichteten Neubauten ein mittlerer $HWB_{Ref,SK}$ zu erwarten, der den Annahmen des Effizienz-Szenarios und damit dem Kostenoptimum entspricht.

Handlungsempfehlungen zur Wärmeversorgung

Die Anforderungen an den Primärenergiebedarf nach der aktu-

Bauteil	Mindestanforderungen bzw. mittlere U-Werte Sanierung [W/m ² K] ohne WB-Zuschlag					
	BTV 2019	WBF 2018 Basis/Bonus	WBF 2020 Basis / Bonus	Mittel 2030 BTV und WBF	Mittel 2040 BTV und WBF	Mittel 2050 BTV und WBF
Wände	0,26	0,20 / 0,15	0,18 / 0,13	0,20	0,16	0,15
Decken	0,20	0,16 / 0,13	0,15 / 0,12	0,15	0,13	0,12
Böden	0,35	0,30 / 0,23	0,28 / 0,20	0,28	0,25	0,22
Fenster	1,0	0,95 / 0,80	0,90 / 0,75	0,90	0,85	0,80

Tabelle 1.5
Mindestanforderungen bzw. mittlere U-Werte Sanierung im Vergleich. Die angegebenen Werte verstehen sich ohne Wärmebrückenzuschläge.

ellen OIB-Richtlinie sollten so festgelegt werden, dass im Mittel aller nach der nächsten Novellierung von BTV und WBF errichteten Gebäude die mittleren Primärenergie-Kennwerte des Effizienzscenarios erreicht werden (siehe Abb. 1.15).

Dass die im Effizienzscenario berücksichtigten Primärenergiekennwerte auch in der Praxis erreicht werden können, zeigt das in der Grafik dargestellte Mehrfamilienhaus Morscher in Langenegg: Der aus den realen Verbräuchen berechnete Primärenergiekennwert von etwa 43 kWh/(m²_{BGF}·a) liegt trotz 22,8°C Raumlufttemperatur merklich unter dem Primärenergie-Kennwert für Gebäude mit Wärmepumpenheizung im Effizienzscenario.

Als weiterer Indikator sollten die CO₂-Emissionen verwendet werden. Hier sollte geprüft werden, ob es zielgerechter ist, einen einheitlichen Anforderungswert für alle Energieträger zu definieren oder die Mindestanforderung abhängig von dem eingesetzten Energieträger / Energiesystem zu differenzieren.

Langfristiger Ausstieg aus den Öl- und Gasheizungen

Der Zeitplan zum Ausstieg aus der Wärmeerzeugung mit Heizöl im Neubau und im Bestand (Vorschlag: ab 2025) sollte frühzeitig festgelegt und kommuniziert werden. Ferner könnte der Zubau von Gasheizungen begrenzt werden, indem z.B. die Erschließung neuer Versorgungsgebiete im Einzelfall kritisch überprüft wird; dies auch aus wirtschaftlichen Gründen.

Handlungsempfehlungen zur Stromeffizienz und Stromerzeugung in Vorarlberg

Die Stromeffizienz sollte als zentrales und schwierig umsetzbares Handlungsfeld der Energieautonomie ein hohes Gewicht erhalten. Dabei könnten folgende Maßnahmen sinnvoll sein:

- Förderung des Einsatzes stromeffizienter Haushaltsgeräte und Beleuchtung, auch aus sozialen Gründen (z.B. um die Betriebs- und Nebenkosten in Sozialwohnungen zu begrenzen).
- Förderungen für besonders effiziente Technologien im Bereich Hilfsstromeinsatz (Pumpen, Steuerungen, Standby) und Allgemeinstrom (Beleuchtung Tiefgaragen und Treppenhäuser, Aufzüge).
- Forschung in Kooperation mit entsprechenden Firmen und Herstellern aus Vorarlberg im Bereich Lastmanagement und Kopplung von Stromeffizienz mit Eigennutzung, Speicherung und anderen Sektoren (z.B. Elektromobilität).

Es sollte ferner ein besonderes Augenmerk auf die künftige Entwicklung der Stromerzeugungsstruktur gerichtet werden. Die besonderen Herausforderungen liegen hier im beschleunigten Ausbau der Stromanwendungen (z.B. Wärmepumpen, Elektromobilität) und der Frage der saisonalen Speicherung zur Überbrückung der Winterlücke. Dies sollte gleichzeitig mit einer Beibehaltung oder einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Stromversorgung verbunden werden.

2 Vorarlberg – Energieperspektiven

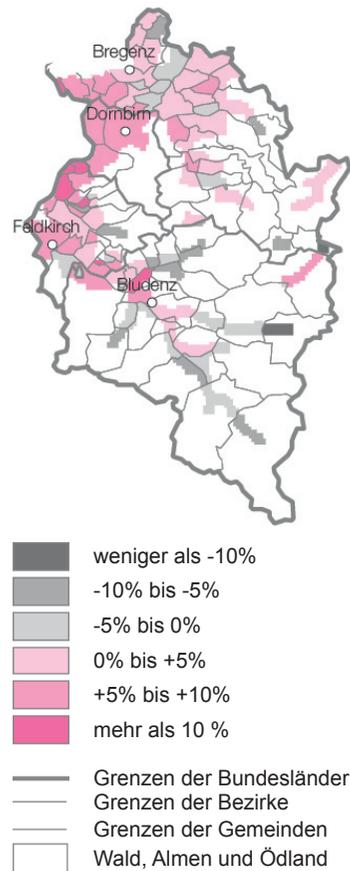


Abbildung 2.1
Veränderung der Bevölkerung in Vorarlberg in Prozent im Zeitraum 2001 - 2011. Quelle: (Statistik Austria 2013).

2.1 Räumliche Struktur

Vorarlberg ist das westlichste Bundesland der Republik Österreich und grenzt an drei weitere Nationen (Deutschland, Liechtenstein und die Schweiz) an. Es hat eine Fläche von ca. 2600 km² und besitzt derzeit etwa 387.000 Einwohner. Geographisch kann man wenigstens vier Großraumgebiete unterscheiden. Am tiefsten gelegen und gleichzeitig am intensivsten besiedelt ist das Rheintal zwischen Bregenz und Feldkirch. Hier leben etwa 240.000 der Einwohner Vorarlbergs. Das Walgau bildet mit 48.000 Einwohnern die zweitgrößte Region mit Bludenz als Hauptort. Daran schließen sich drei Hochtäler an. Das Montafon und das Klostertal erstrecken sich bis ins Hochgebirge (Silvrettagruppe, Verwall). Das große Walsertal erstreckt sich Richtung Lechquellengebirge. Der Bregenzerwald bildet eine eigenständige Region in einem Tal mittlerer Höhe mit etwa 30.000 Einwohnern. Das Bodenseeufer und das Leiblachtal bilden den nördlichen Abschluss. Vorarlberg besitzt damit eine stark kleinräumige Landschafts- und Kulturräumgliederung mit entsprechend vielfältigen Siedlungsraumtypen und Klimazonen.

2.2 Siedlungsentwicklung

Die Bevölkerung Vorarlbergs ist in der Vergangenheit stärker gewachsen, als der österreichweite Durchschnitt. Nach den Ergebnissen der Registerzählung 2011 stieg die Bevölkerung seit 2001 um knapp 20.000 Personen auf etwa 370.000 Einwohner. Dies entspricht einem Zuwachs von 5,5% im Vergleich zum österreichweiten Zuwachs von 4,6%. Ein höheres Wachstum hat nur Wien zu verzeichnen (Statistik Austria 2013). Innerhalb Vorarlbergs ist der Bevölkerungszuwachs regional sehr unterschiedlich verteilt: in der NUTS-Region Rheintal-Bodensee beträgt der Zuwachs 6,9%, in der Region Bludenz/Bregenzer Wald nur 1,3%. In den politischen Bezirken ist das Bevölke-

rungswachstum im Bezirk Dornbirn mit 8,6% und Feldkirch mit 6,9% am höchsten. Im Bezirk Bregenz beträgt es 4,8%, im Bezirk Bludenz nur 0,9% (Statistik Austria 2013). Das Bevölkerungswachstum zwischen 2001 und 2011 war zu 73% auf einen Geburtenüberschuss, zu 27% auf einen positiven Wanderungssaldo in andere Bundesländer bzw. ins Ausland zurückzuführen (Statistik Austria 2013).

Auf Gemeindeebene haben etwa 65% der 96 Vorarlberger Gemeinden Bevölkerungszuwächse zu verzeichnen. Abb. 2.1 verdeutlicht den Trend zu starken Bevölkerungszunahmen im Rheintal und Walgau und zu abnehmenden Bevölkerungszahlen in peripheren Tallagen.

Die Siedlungsentwicklung im Hauptsiedlungsgebiet Rheintal ist geprägt von einer insgesamt geringen Verdichtung. Wie Abb. 2.3 zeigt, liegt die Bevölkerungsdichte in großen Teilen der Siedlungsgebiete bei weniger als 25 Bewohnern pro Hektar. Dichten von mehr als 100 Personen pro Hektar finden sich nur in wenigen, kleinräumigen Stadtteilen.

Die Siedlungsentwicklung im Rheintal erfolgt bandartig entlang der Hauptverkehrsachsen (S-Bahn, Autobahn). Obwohl in den Rheintalgemeinden noch 7.500 ha als Bauland gewidmet sind von denen im Jahr 2006 42% unbebaut waren (vgl. VORUM), wird das Problem der Flächenknappheit bzw. Flächenkonkurrenz verschiedener Nutzungen seit etwa 15 Jahren stärker thematisiert. Hintergrund ist vor allem das Phänomen der „Grundstücksbevorratung“, d.h. die Baugrundstücke sind zwar ausgewiesen, sind jedoch nicht für den Grundstücksmarkt verfügbar. Dies führt u.a. zu den Zersiedelungserscheinungen, die die Siedlungsentwicklung Vorarlbergs in der Nachkriegszeit geprägt haben (siehe Abb. 2.2).



Abbildung 2.2
Vorher-Nachher-Vergleich eines
Ausschnitts der Siedlungsstruktur
im Wallgau (1950 - 1979), der
exemplarisch die flächenintensive
Erschließung und Neuausweisung
von Baugrundstücken in der Nach-
kriegszeit aufzeigt. Quelle: (AVL
1983, S. 36 ff.)

Einwohnerdichte (in P/ha):

01-25
26-50
51-75
76-100
> 100:

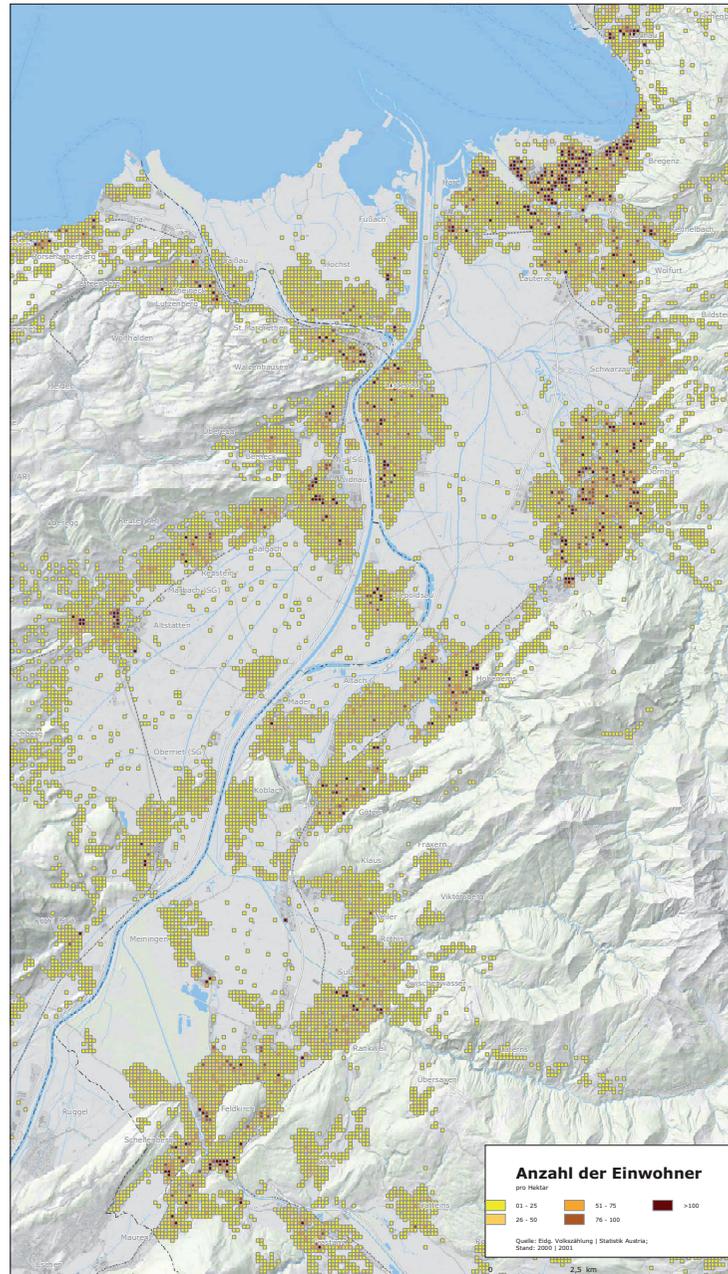


Abbildung 2.3:
Anzahl der Einwohner pro Hektar
im Rheintal. Quelle: (Rheintalkarten
2017, S. 11).

Um diesen Entwicklungen entgegenzuwirken haben sich das Land Vorarlberg und 29 Rheintalgemeinden im Jahr 2006 im Projekt Vision Rheintal zusammengeschlossen, um in einem offenen Beteiligungsprozess ein Konzept zur räumlichen Entwicklung und zur regionalen Kooperation zu entwickeln.

2.3 Denkmalbestand

In Vorarlberg sind knapp 1.600 Objekte von Burgen über Kirchen und andere sakrale Bauwerke, Industriegebäude bis zu Wohngebäuden als Denkmale gelistet (vgl. bda 2017).

Bei etwa 520 der Objekte handelt es sich um Wohngebäude – von Bauernhöfen mit Wohnnutzung, über Arbeiterwohnhäuser und Bürgerwohnhäuser, bis hin zu Villen. Neben Einzelobjekten sind auch größere zusammenhängende Bestände bzw. Ensembles geschützt, deren Bedeutung als Denkmal in der Ensemblewirkung liegt. Die größten dieser Bestände liegen in Feldkirch (Innenstadt), in der Altstadt von Bregenz, im jüdischen Viertel in Hohenems und in Dornbirn. Die Wohngebäudebestände in diesen vier Orten machen bereits etwa 80% des Gesamtbestandes an denkmalgeschützten Wohngebäuden in Vorarlberg aus.

Die Anzahl der Wohneinheiten in denkmalgeschützten Gebäuden wird in der Denkmalliste nicht publiziert. Um die Einsparpotenziale des Gesamt-Wohngebäudeparks tendenziell vorsichtig abzuschätzen, wurden Anzahl und Fläche der denkmalgeschützten Gebäude (im Modell unter „bedingt sanierbar“ rubriziert) bewusst relativ hoch angesetzt. Insgesamt wurden knapp über 15.000 Wohneinheiten mit einer Wohnfläche von etwa 1.536.000 m² als bedingt sanierbar angesetzt. Dies entspricht etwa 9,3% der Gesamt-Wohnfläche des Jahres 2010. Für die Gebäude unter Denkmalschutz wurden, wie in Kapitel 3.1 erläutert, Energiesparmaßnahmen nur sehr zurückhaltend modelliert, da bei der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude Bestandserhalt und Sicherung des ursprünglichen Erscheinungsbildes Vorrang haben.

2.4 Übersicht über die zentralen Eck- und Basisdaten

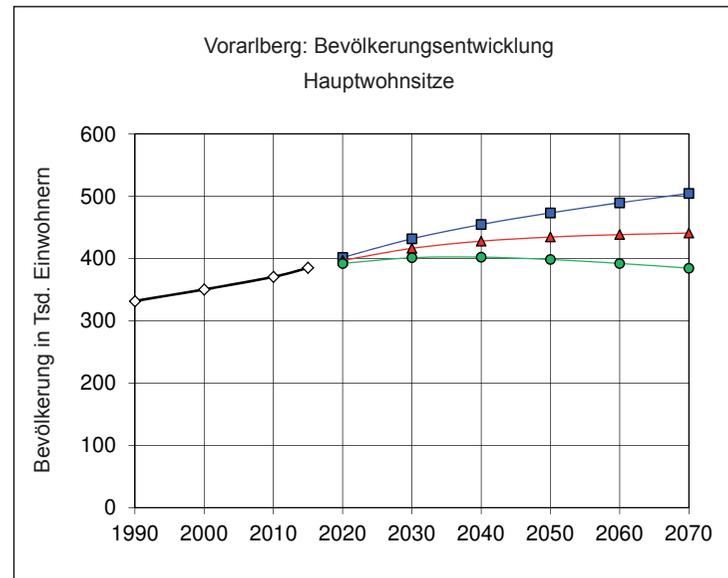
In das Kohortenmodell sind bestimmte Mengenkomponenten zu integrieren, die als „Antriebe“ für die Gesamtentwicklung eine wesentliche Rolle spielen. Daher sind diese möglichst sorgfältig zu bestimmen oder es ist alternativ über Sensitivitätsstudien zu prüfen, inwieweit die hier getroffenen Annahmen einen kritischen Einfluss auf das Gesamtergebn haben.

Für die Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung (Anzahl, Größe) Vorarlbergs liegen Daten sowie entsprechende Prognosen der Landesstelle für Statistik des Amtes der Vorarlberger Landesregierung (LfS-AVL 2016 und LfS-AVL 2016a) und der Statistik Austria (Statistik Austria 2016) vor.

Für die Bevölkerungsentwicklung (siehe Abb. 2.4) zeigt sich ein Trend, bei dem sich das Wachstum bis 2040 in dem bisherigen Ausmaß fortsetzt, um danach allmählich abzufachen. Die Bevölkerung steigt nach dieser Prognose von 383.160 Einwohnern im Jahr 2005 auf 414.020 im Jahr 2030 und 438.280 im Jahr 2050 an. Für eine Sensitivitätsstudie wurden zusätzlich eine obere und untere Prognose gebildet, deren Wachstumsrate um 0,25% p.a. nach oben bzw. unten abweichen.

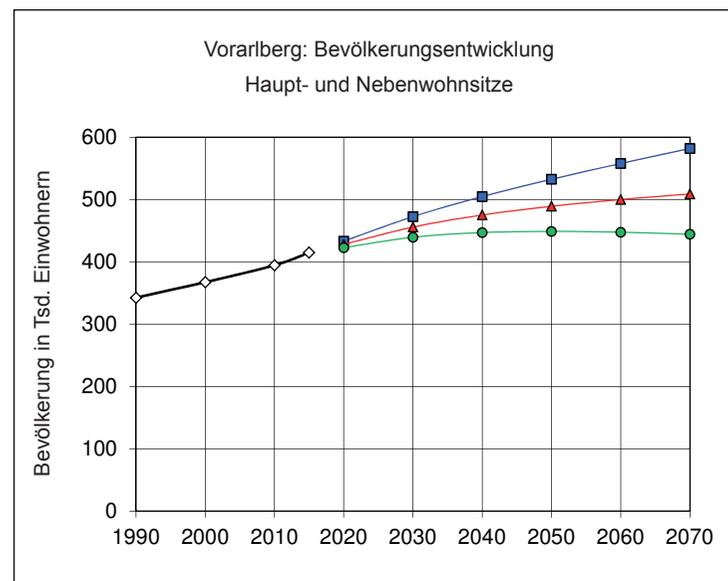
Die Bevölkerung Vorarlbergs fällt spürbar größer aus, wenn auch die Personen, die in Vorarlberg mit Nebenwohnsitz gemeldet sind, miteinbezogen werden (siehe Abb. 2.5). Hier liegen im Jahr 2010 die Werte um 8 % und im Jahr 2050 sogar um 11% höher, als im Referenzfall.

Interessant ist, wenn man zusätzlich die Wohnflächenentwicklung miteinbezieht. Denn die bewohnten Nutzflächen sind eine entscheidende Größe für den Energiebedarf des Wohngebäudeparks. In Abb. 2.6 sind die relativen Entwicklungen von Bevölkerung, Haushalten und Wohnflächen mit dem Bezugsjahr 2010 (= 100%) aufgetragen. Es wird deutlich sichtbar, dass die Zahl der Haushalte überproportional zur Bevölkerungszahl ansteigt. Hintergrund ist die Tendenz zu immer kleineren Haus-



- ◇ IST-Entwicklung bis 2015
- obere Prognose
- ▲ mittlere Prognose
- untere Prognose

Abbildung 2.4
Bevölkerungsentwicklung Vorarlberg im Zeitraum 1990 - 2070. Die bisherige Bevölkerung mit Hauptwohnsitz ist bis 2015 dargestellt. Ab 2020 sind die Werte der „Bevölkerungsprognose 2015“ für den Zeitraum bis 2070 angetragen (mittlere Prognose). Die obere und untere Prognose resultieren aus einem um jeweils 0,25% p.a. höheren bzw. niedrigeren Wachstum der Bevölkerung. Quellen: (LfS-AVL 2016) und (LfS-AVL 2016a).



- ◇ IST-Entwicklung bis 2015
- obere Prognose
- ▲ mittlere Prognose
- untere Prognose

Abbildung 2.5
Bevölkerungsentwicklung Vorarlberg im Zeitraum 1990 - 2070 mit Haupt- und Nebenwohnsitzen. Ab 2020 sind die Werte der „Bevölkerungsprognose 2015“ für den Zeitraum bis 2070 angetragen (mittlere Prognose). Die obere und untere Prognose resultieren aus einem um jeweils 0,25% p.a. höheren bzw. niedrigeren Wachstum der Bevölkerung. Quellen: (LfS-AVL 2016) und (LfS-AVL 2016a).

- ◇- Bevölkerung
- Haushalte
- ▲- Wohnfläche

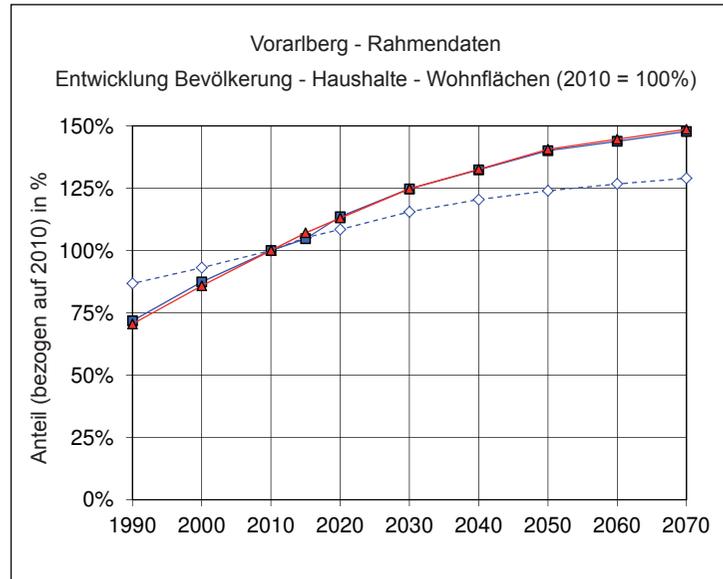


Abbildung 2.6
Relative Entwicklung der Bevölkerung, der Haushalte und der Wohnflächen in Bezug zum Ausgangsjahr der Untersuchung 2010 (= 100%).
Quelle: (Statistik Austria 2016) und eigene Berechnungen.

- Spez. Wohnfläche je Haushalt
- ▲- Spez. Wohnfläche je Person

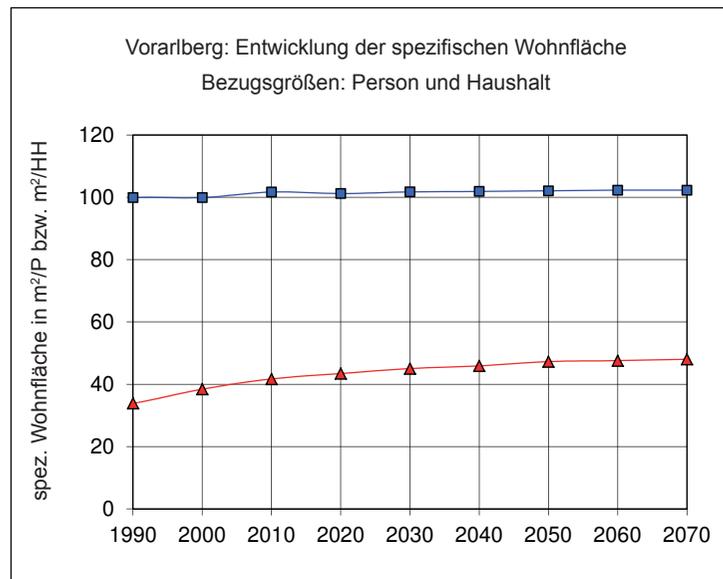


Abbildung 2.7
Entwicklung der spezifischen Wohnfläche pro Haushalt (blau) und pro Person (rot), als Grundlage für die Bestimmung der gesamten Wohnfläche im Betrachtungszeitraum. Quelle: (Statistik Austria 2016) und eigene Berechnungen.

halten. Während die durchschnittliche Haushaltsgröße im Jahr 1990 noch 2,95 Personen und im Jahr 2010 etwa 2,44 Personen betrug, wird diese gemäß der Haushaltsprognose 2016 (Statistik Austria 2016) bis 2050 auf nur noch 2,16 Personen absinken. Weiter ist gut zu erkennen, dass der Wohnflächenzuwachs sehr gut mit der Zunahme der Haushalte korrespondiert, nicht jedoch mit der Bevölkerungsentwicklung. Diese Zusammenhänge werden auch deutlich, wenn man die Entwicklung der spezifischen Wohnfläche je Person bzw. je Haushalt betrachtet (siehe Abb. 2.7). Während die spezifische Wohnfläche pro Person kontinuierlich von 40 m² im Jahr 2005 auf 47 m² im Jahr 2050 ansteigt, variiert die spezifische Wohnfläche pro Haushalt nur leicht zwischen 100 und 102 m².

Analysiert man die Wohnflächenentwicklung genauer, so sind hier mehrere Einflussfaktoren wirksam, die eng zusammenwirken. Die Wohnfläche insgesamt ist von 11,6 Mio m² im Jahr 1990 bis 2010 auf 16,4 Mio m² angewachsen. Sie wird, wenn dieser Trend weiter anhält 2030 bei 20,5 Mio m² liegen und bis 2050 sogar auf 23,1 Mio m² angestiegen sein. Erst danach wird das Wohnflächenwachstum langsam zurückgehen und erreicht dann im Jahr 2070 einen Wert von 24,4 Mio m².

Bei einer Darstellung, in der die Gebäudetypen unterschieden sind (Abb. 2.8) erkennt man, dass im Betrachtungszeitraum alle Gebäudetypen Zuwächse erfahren. Besonders stark sind diese bei den Einfamilien- und den kleinen Mehrfamilienhäusern. In Zukunft wird auch ein stärkerer Anstieg in größeren Mehrfamilienhäusern erwartet.

In der differenzierten Darstellung der Wohnflächen nach strategischen Typen (Abb. 2.9) wird sichtbar, dass im gesamten Betrachtungszeitraum ein Abgang bei den heutigen Bestandsgebäuden stattfindet. Die Abgangsrate wurde in den Szenarien mit konstant 0,33 % pro Jahr angenommen. Der Neubau umfasst somit den steigenden Bedarf und die Ersatzbauten für Wohnungen, die abgerissen oder umgenutzt werden.

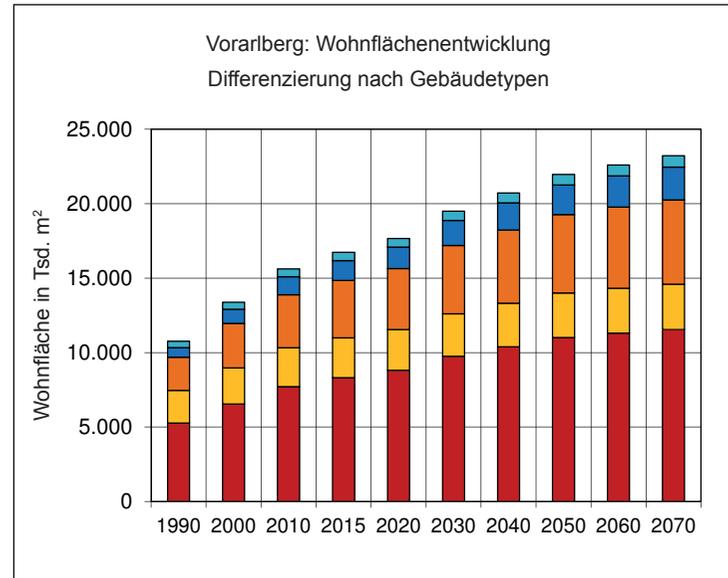
2.5 Zielsetzungen der Energieautonomie Vorarlberg

Die Energieautonomie Vorarlberg ist das zentrale energiepolitische Programm des Landes Vorarlberg. In einem einstimmigen Landtagsbeschluss wurde die Energieautonomie im Jahr 2009 als langfristiges strategisches Ziel bis 2050 festgelegt. Vorarlberg möchte dadurch in der Energiefrage selbstbestimmt agieren, um eine Unabhängigkeit von Energiekostensteigerungen zu erreichen und vor Versorgungsengpässen, speziell bei den fossilen Energieträgern, bestmöglich geschützt zu sein. Zugleich soll damit ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden (vgl. AVL 2012, S.6).

Das Programm Energieautonomie kann als regionale Umsetzung internationaler, europäischer und nationaler Zielvorgaben verstanden werden. Diese Vorgaben wurden in den letzten 10 Jahren immer stärker konkretisiert und erhielten rechtlich einen immer verbindlicheren Charakter. Unter Energieautonomie wird verstanden, dass bis zum Zieljahr 2050 der Gesamt-Endenergiebedarf des Landes so weit reduziert werden soll, dass die Erträge der heimischen erneuerbaren Energieträger den Bedarf jahresbilanziell decken können.

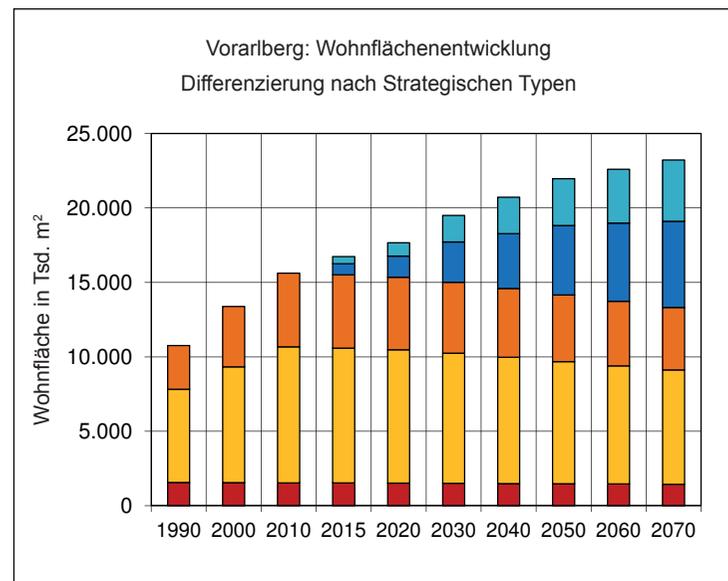
Die Langfristziele des Prozesses Energieautonomie für 2050 wurden im Jahr 2010 als Ergebnis eines breit angelegten Beteiligungsprozesses detailliert beschrieben. Bedarfsseitig wird eine Reduktion des Endenergiebedarfs in Summe aller Verbrauchssektoren von 9.546 GWh/a im Jahr 2005 um etwa 62% auf 3.587 GWh/a im Jahr 2050 angestrebt. Für den Bereich Wohngebäude (Raumwärme und Warmwasser) soll der Endenergiebedarf von 2.661 GWh/a um ca. 66% auf 908 GWh/a, für den Haushaltsstrom von 470 GWh/a um etwa 55% auf 211 GWh/a reduziert werden (EAV Vision 2010).

Für die Erzeugung aus regionalen erneuerbaren Energiequellen wird ein Anstieg von 3.219 GWh/a um etwa 47% auf 4.762 GWh/a angestrebt.



■ GWB (> 19 WE)
■ WHA (10 - 19 WE)
■ MFH (3 - 9 WE)
■ ZFH (2 WE)
■ EFH (1 WE)

Abbildung 2.8
Entwicklung der Wohnflächen in Vorarlberg 1990 - 2070, wie sie den Szenarien zugrundegelegt ist. Dargestellt ist die Differenzierung nach Gebäudetypen (Geschosswohnungsbau GWB, Wohnhausanlagen WHA, Mehrfamilienhäuser MFH, Zweifamilienhäuser ZFH und Einfamilienhäuser EFH).



■ Neubau MFH ab 2010
■ Neubau EFH ab 2010
■ Bestand MFH
■ Bestand EFH
■ Bedingt sanierbarer Bestand

Abbildung 2.9
Entwicklung der Wohnflächen nach strategischen Typen in Vorarlberg 1990 - 2070.

Kriterium	Kurzbeschreibung	Klimaschutzziel Deutschland	Klimaschutzziel private Haushalte Deutschland
Nationales Klimaschutzziel 2050 (vgl. [Energiekonzept 2010])	Reduktion der nationalen CO ₂ -Emissionen im Jahr 2050 auf 80% im Vergleich zum Stand 1990. Diese Zielsetzung wurde in [Vallentin 2011] zugrundegelegt.	CO ₂ -Emissionen 2050: < 200 Mio t/a	CO ₂ -Emissionen 2050: < 50 Mio t/a (< 650 kg/P*a) (< 13 kg/m ² _{EBF} *a)
2°C - Ziel: Bezug: Pro-Kopf-Emissionen 2050 (vgl. [Meinshausen et al. 2009])	Halbierung der globalen CO ₂ -Emissionen 2050 gegenüber dem Stand 1990; Angleichung der Pro-Kopf-Emissionen im Jahr 2050 gemäß dem Modell von Verringerung und Konvergenz mit Bezugsjahr 2050 (C&C 2050).	Pro-Kopf-CO ₂ -Emissionen 2050 < 1,25 t/P*a	CO ₂ -Emissionen 2050: < 312 kg/P*a (< 6,5 kg/m ² _{EBF} *a)
2°C - Ziel: Budgetansatz mit Begrenzung der kumulierten CO ₂ -Emissionen 2000 – 2050 (vgl. [WBGU 2009])	Begrenzung der globalen CO ₂ -Emissionen im Zeitraum 2000 – 2050 auf ein Niveau, bei dem die Wahrscheinlichkeit des 2°C-Ziel zu überschreiten nicht höher als 25% zu liegen kommt auf < 1000 Gt; Verteilung des Budgets auf Nationalstaaten gemäß dem Ansatz „Zukunftsverantwortung“ (vgl. [WBGU 2009], S. 28).	Kumulierte CO ₂ -Emissionen 2010 – 2050: < 9000 Mio t	Kumulierte CO ₂ -Emissionen 2010 - 2050: < 2500 Mio t (durchschnittliche Jahresbudgets 2010 – 2050: 800 kg/P*a bzw. 16 kg/m ² _{EBF} *a)

Tab. 2.1
Begründung von Klimaschutzzielen für Deutschland und den Sektor der privaten Haushalte für das Jahr 2050 nach verschiedenen Ansätzen. Die Angaben in der letzten Spalte beruhen auf einer angenommenen Bevölkerung Deutschlands im Jahr 2050 von 75 Mio und einer spezifischen Wohnfläche pro Person von 50 m². Berechnung unter Verwendung der Daten aus: (Energiekonzept 2010), S. 5; (Meinshausen et al. 2009) sowie (WBGU 2009), S. 2 ff. und 27 f.. Quelle und nähere Erläuterungen: (Vallentin 2012, S. 60 ff.).

Den Zielsetzungen liegt die Annahme eines Bevölkerungswachstums von etwa 10% von 2005 (Referenzjahr der Energieautonomie) bis zum Zieljahr 2050 zugrunde.

Die Mittelfristziele für 2020 und die wichtigsten Umsetzungsmaßnahmen wurden im Jahr 2012 als Ergebnis eines von Infra und dem Österreichischen Ökologieinstitut zusammengeführten Prozesses mit Arbeitsgruppen zu den verschiedenen Verbrauchs- und Erzeugungssektoren festgelegt. Für den Verbrauchssektor Gebäude (Wohn- und Nichtwohngebäude) wurde für Heizung und Warmwasserbereitung eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um 18% und der CO₂-Emissionen um 23% (jeweils 2020 im Vergleich zum Referenzjahr 2005) festgelegt. Als Ziel für die Energieerzeugung aus Erneuerbaren wird ein Zuwachs um knapp 19% angestrebt.

2.6 Klimaschutzziele in Übereinstimmung mit dem 2°C-Ziel der Pariser Klimakonferenz

An dieser Stelle soll transparent gemacht werden, dass es unterschiedliche Ansätze gibt, wie die globalen Klimaschutz-Zielsetzungen definiert und wie aus den globalen Klimaschutzzielen nationale oder regionale Ziele hergeleitet werden können. Die Festlegung globaler und – daraus abgeleitet nationaler oder regionaler Klimaschutzziele erfolgt zumeist in zwei Schritten.

Schritt 1: Ermittlung maximal zulässiger globaler Treibhausgasemissionen, mit denen ein Ziel (z.B. Begrenzung der Erderwärmung im Jahr 2050 auf 2 Kelvin gegenüber dem vorindustriellen Wert) mit einer hohen Wahrscheinlichkeit erreicht werden kann. Die maximal zulässigen Treibhausgas-Emissionen werden dabei in Multi-Szenarien-Analysen berechnet.

Schritt 2: Festlegung nationaler oder regionaler Maximalwerte für die zukünftigen Treibhausgasemissionen. Diese Werte werden durch die Umrechnung der globalen Maxima der zulässigen Treibhausgas-Emissionen auf pro-Kopf-Emissionen ermittelt. Verschiedenen Ländern werden also maximal zulässige Treibhausgasemissionen aufgrund Ihres Anteils an der Weltbevölkerung zugewiesen. Für die Zuteilung der maximal zulässigen Treibhausgas-Emissionen auf einzelne Länder oder Regionen können dabei verschiedene Ansätze gewählt werden: Im Ansatz „Zukunftsverantwortung“ bleiben die bisherigen Beiträge der Staaten an den Treibhausgas-Emissionen unberücksichtigt, es wird lediglich aus den maximal zulässigen Pro-Kopf-Emissionen ein Budget nach der aktuellen Bevölkerungszahl ermittelt. Dieser Ansatz ist für Industrieländer vorteilhaft, da ihre hohen Anteile an den bisherigen Emissionen nicht ins Gewicht fallen. Im Ansatz „Historische Verantwortung“ werden hingegen die bisherigen Emissionen einzelner Staaten oder Regionen bei der Ermittlung Ihrer Treibhausgas-Budgets berücksichtigt, so dass sich für Industrieländer weit strengere Anforderungen ergeben.

Aus dem Treibhausgas-Budget eines Staates können in einem weiteren Schritt sektorale Ziele (für Gebäude, Industrie, Landwirtschaft, Mobilität) bestimmt werden. Für den Gebäudebereich müssen in einem letzten Schritt aus dem sektoralen Ziel Anforderungen an die energetische Qualität von Einzelgebäuden (Neubau) bzw. von zu sanierenden Bauteilen definiert werden. Grundlage für die Bestimmung realistischer Anforderungswerte ist u.a. die Bestimmung einer realistischen, nachhaltig erreichbaren Sanierungsrate.

Nachfolgend wird am Beispiel Deutschland erläutert, wie nationale Klimaschutzziele aus den globalen Zielen hergeleitet werden können. Das Beispiel Deutschland wurde gewählt, da die Langfristziele Österreichs bislang noch nicht festgelegt wurden. Sie sind im Rahmen des Prozesses der integrierten Energie- und Klimaschutzstrategie derzeit in Ausarbeitung. Die Herleitung des Österreichischen Klimaschutzziels kann jedoch analog zur Vorgehensweise in Deutschland erfolgen, da die grundsätzliche Vorgehensweise (Ableitung des Nationalen Ziels auf Basis des Anteils an der Weltbevölkerung) gleich ist.

- Das nationale Klimaschutzziel Deutschlands (Reduktion der CO₂-Emissionen um einen Faktor 5 gegenüber Stand 1990) wurde von der Enquete-Kommission >Schutz der Erdatmosphäre< des deutschen Bundestages 1992 definiert. Ähnliche Zielsetzungen wurden auch für Österreich formuliert.
- Sofern man die Wahrscheinlichkeit, das 2°C-Ziel zu überschreiten, auf 30% begrenzen möchte, müssen die globalen CO₂-Emissionen 2050 gegenüber dem Stand von 1990 halbiert werden (vgl. Meinshausen et al. 2009). Folgt man dem Ansatz von Verringerung und Konvergenz mit Bezugsjahr 2050 (Meyer 2000) bedeutet dies, dass die Pro-Kopf-Emissionen sich bis 2050 angleichen sollten und nicht höher als ca. 1,25 t/P*a liegen sollten.
- Nochmals strengere Anforderungen stellt der sog. Budgetansatz des wissenschaftlichen Beitrats der Bundesregie-

Klimaschutzstandards: zu unterschreitende Grenzwerte für die Zeitperiode 2010 - 2020					
Bezugsgröße: Energiebezugsfläche (m²)		Neubau	Bestand		
			voll sanierbar	bedingt sanierbar	
				mit Innendämmung	ohne Innendämmung
Heizwärme-Kennwert	kWh/m ² a	15	35	70	100
Primärenergie-Kennwert (nicht erneuerbar)	kWh/m ² a	100	120	170	220
Global-Warming-Potential (CO ₂ -Äquivalent-Emissionen)	kg/m ² a	25	30	40	50

Bezugsgröße: Person (P)					
Heizwärme-Kennwert	kWh/P*a	750	1750	3500	5000
Primärenergie-Kennwert (nicht erneuerbar)	kWh/P*a	5000	6000	8500	11000
Global-Warming-Potential (CO ₂ -Äquivalent-Emissionen)	kg/P*a	1250	1500	2000	2500

rung Globale Umweltveränderungen (WBGU 2009). Hier werden zunächst die aus Klimaschutzgründen maximal zulässigen CO₂-Emissionen im Zeitraum 2010 - 2050 über eine Multi-Szenarien-Analyse eingegrenzt. Sofern die Wahrscheinlichkeit, das 2°C-Ziel zu überschreiten nicht höher als 25 % betragen soll, dürfen in diesem Zeitraum global maximal noch 1000 Gt Kohlendioxid emittiert werden.

- Die Verteilung auf Ländergruppen und Nationalstaaten können nach verschiedenen Prinzipien vorgenommen werden. Wählt man hierbei den für die Industriestaaten moderateren Ansatz der „Zukunftsverantwortung“ müssten in Deutschland die CO₂-Emissionen im Zeitraum 2010 - 2050 auf höchstens 9 Mrd. t begrenzt werden. Wählt man hin-

Tab. 2.2
 Zu unterschreitende Grenzwerte der Klimaschutzstandards in der Zeitperiode 2010 - 2020. Die Kennwerte zur nicht-erneuerbaren Primärenergie und zum Global-Warming-Potential beziehen alle Energiedienstleistungen der privaten Haushalte mit ein (Raumwärme, Lüften, Warmwasser, sämtliche Stromwendungen).
 Oben: Grenzwerte pro Quadratmeter Energiebezugsfläche
 Unten: Grenzwerte pro Person.
 Hinweis: Die verwendeten Konversionsfaktoren weichen von denen in dieser Studie leicht ab
 Quelle: (Vallentin, 2011, S. V-20).

Klimaschutzstandards: Anforderungen gemäß Bauteil-/Komponentenverfahren (Teilsanierungen)			
Bauteil / Technikkomponenten	Voll sanierbarer Bestand	Bedingt sanierbarer Bestand	
		mit Innendämmung	ohne Innendämmung
U- Wert Aussenwand	< 0,15 W/m ² K	< 0,30 W/m ² K*	k.A.
U-Wert Dach / oberste Geschoßdecke	< 0,15 W/m ² K	< 0,15 W/m ² K	< 0,15 W/m ² K
U-Wert Kellerdecke	< 0,30 W/m ² K**	< 0,30 W/m ² K**	< 0,30 W/m ² K**
U-Wert Fenster (eingebaut)	< 0,85 W/m ² K	< 0,85 W/m ² K	< 0,85 W/m ² K
Wärmebereitstellungsgrad der Lüftungsanlage	> 0,75	> 0,75	> 0,75
Heizsystem (Raumwärme / Warmwasserbereitung)	- Gesamtaufwandszahl < 1,15 - Einsatz erneuerbarer Energien - geringer Hilfsstromeinsatz	wie links	wie links
Strombedarf in den Haushalten Endenergiekennwert	< 15 kWh/m ² a	< 15 kWh/m ² a	< 15 kWh/m ² a

Tab. 2.3
Anforderungen der Klimaschutzstandards bei schrittweiser energetischer Modernisierung im Bestand gemäß dem Bauteil-/Komponentenverfahren. Hier werden Anforderungen an die einzelnen Bauteile und Technikkomponenten gestellt, die jeweils energetisch verbessert werden sollen. An Baudenkmale werden prinzipiell keine Anforderungen gestellt. Die dort denkmalverträglichen Maßnahmen sollten jedoch ebenfalls in hoher Qualität ausgeführt werden. Dazu sind die in der Spalte "Bedingt sanierbarer Bestand" genannten Werte als Orientierungshilfe geeignet. Analog wurden die Anforderungswerte für Vorarlberg bestimmt.
Quelle: (Vallentin 2011, S. V-22).

gegen die Option „Historische Verantwortung“ wäre das Budget für Deutschland bzw. Österreich bereits heute vollständig aufgebraucht (vgl. WBGU 2009, S. 2 ff).

In Tabelle 2.1 werden die Konsequenzen der unterschiedlichen Ansätze zur Begründung von Klimaschutzzielen für Deutschland und den Sektor der privaten Haushalte vergleichend gegenübergestellt. Auf dieser Basis ist es möglich, einen belastbaren Vorschlag zu den Klimaschutzzielen Österreichs insgesamt und für den Sektor der privaten Haushalte im Speziellen auf der Basis der aktuellen wissenschaftlichen Diskussion zu formulieren:

- Das Klimaschutzziel sollte in Bezug auf die Pro-Kopf-Emissionen 2050 gewählt werden. Ein Wert um 1,25 t/P*a kann nach derzeitigen Stand der Wissenschaft als kompatibel mit dem 2°C-Ziel angesehen werden (vgl. Meinshau-

sen et al. 2009).

- Für den Sektor der privaten Haushalte ergibt sich - unter der Annahme eines Anteils von auch künftig 25 % der Gesamtemissionen - für das Jahr 2050 ein CO₂-Grenzwert von 312 kg/P*a und ein nutzflächenbezogener Grenzwert von etwa 6,5 kg/m²a.

Klimaschutzpfade

Im Mittelpunkt der energetischen Betrachtung steht die Frage, wie die Energiewende in Verbindung mit den Klimaschutzzielen gelingen kann. Welche Strategien führen zum Erfolg und welche Vorschläge sind trotz vordergründiger Plausibilität kontraproduktiv für den Klimaschutz? Obwohl hier in Österreich ein breiter Konsens über die generelle Zielsetzung existiert, ist weit weniger klar, wie hoch der Beitrag zum Klimaschutz in den einzelnen Sektoren oder Handlungsfeldern ausfallen kann und soll. Noch weniger wurde bislang betrachtet, wie die Klimaschutzziele in kleineren räumlichen Einheiten – mit ihren ort- und stadtspezifischen Besonderheiten – konkret gefasst werden können. Es interessiert nicht alleine die Frage, wie ein Klimaschutzziel formuliert werden könnte, sondern auch, wie der Weg dorthin ausgestaltet werden kann. Nur dann kann man im engeren Sinne von Klimaschutzpfaden sprechen.

Klimaschutzstandards

Klimaschutzstandards definieren Energieanforderungen im Wohnungsbau, die in Übereinstimmung mit den langfristigen Klimaschutzzielen Deutschlands stehen (vgl. Vallentin 2011, S. V-19 ff.). Es wird eine Unterscheidung in vier verschiedene strategische Gruppen vorgenommen (siehe Abb. 2.2 und 2.3). Die Ergebnisse beziehen sich auf Deutschland, sind jedoch in abgewandelter Form auch für Vorarlberg verwendbar (Anm. 1):

- An neu erstellte Gebäude werden die strengsten Anforderungen gestellt, weil im Neubau keine prinzipiellen Einschränkungen hinsichtlich der Umsetzung des energetischen Konzepts geltend gemacht werden können. Sie ent-

sprechen in etwa dem Passivhausstandard.

- Im voll sanierbaren Bestand können i.d.R. alle energetischen Maßnahmen vollumfänglich umgesetzt werden; einige Anschlüsse (z.B. Sockel, Balkone) lassen sich jedoch nur mit unverhältnismäßigem Aufwand auf Neubaulniveau verbessern. Daher sind hier die Anforderungen geringer als im Neubau. Die typischen Qualitäten entsprechen denen von Passivhauskomponenten (siehe Tab. 2.3) Dies ist auch dadurch gerechtfertigt, dass in der Bau- substanz Herstellungsenergie gebunden ist, die für eine weitere Nutzungsperiode zur Verfügung steht.
- Nochmals geringere Anforderungsniveaus werden im be- dingt sanierbaren Bestand gesetzt. Abhängig von der Ein- griffsempfindlichkeit können hier bestimmte Maßnahmen nicht oder nur in abgewandelter Form ausgeführt werden.
- Zusätzlich unterschieden wird hier zwischen Gebäuden, bei denen sich eine Innendämmung als baukulturell ver- träglich erweist, und Gebäuden, bei denen auch eine In- nendämmung nicht in Frage kommt. In der überwiegen- den Zahl der Fälle sind davon Fassaden betroffen.

2.7 Kostenoptimalitätsstudien zur Bestimmung der energetischen Qualitäten im Effizienz-Szenario

Kosten und Wirtschaftlichkeit sind ein maßgebliches Kriterium zur Beurteilung der Umsetzungschancen der in dieser Studie beschriebenen Szenarien. Die energetische Qualität der Neu- bauten im Effizienz-Szenario für das Jahr 2020 wurde daher so festgelegt, dass sie dem kostenoptimalen Energieniveau ent- spricht, das für den Neubau im Modellvorhaben KliNaWo (EIV 2016) entspricht. Zur Bestimmung des kostenoptimalen Ener- gieniveaus für die Sanierung wurde auf abgerechnete Kos- ten eines Modellvorhabens in Deutschland zurückgegriffen, in dem zwei identische Mehrfamilienhäuser mit zwei unterschied- lichen Energiestandards saniert wurden und für das ebenfalls detaillierte Kostenauswertungen vorliegen (vgl. Ploss 2017).

Kostenoptimum im Neubau

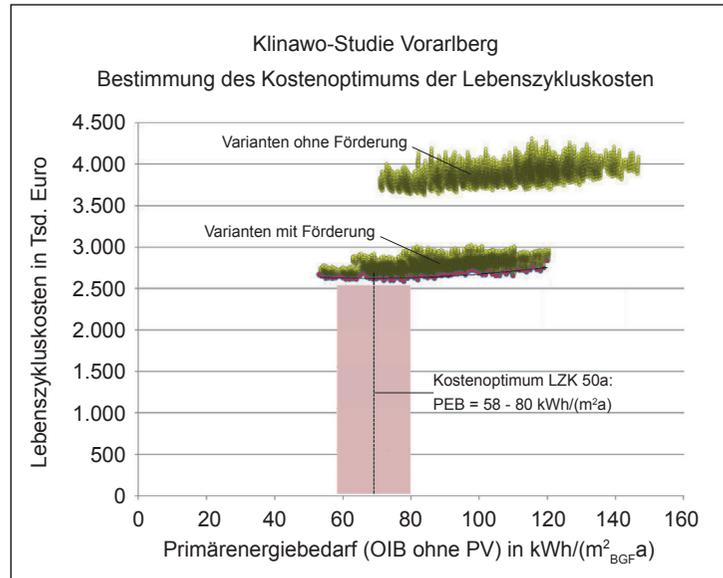
Für das Modellvorhaben KliNaWo wurden für ein typisches Mehrfamilienhaus in Vorarlberg 60.000 Ausführungsvarianten geplant, ausgeschrieben und Angebotspreise ermittelt. Dabei wurden neben der Bauweise (Massiv-, Misch- und Holzbau- weise) unterschiedliche energetische Qualitäten der Hülle und des Lüftungskonzeptes sowie verschiedene Wärmeversor- gungsvarianten miteinander kombiniert. Zusätzlich wurden alle Varianten einmal mit und einmal ohne Förderung gerechnet.

In Abb. 2.8 sind die Ergebnisse zusammengeführt, indem für jede Variante die Lebenszykluskosten über 50 Jahre dem Pri- märenergiekennwert (gemäß OIB-RL-6 2011) gegenüberge- stellt sind. Die obere Punktwolke umfasst alle Fälle ohne För- derung. Die untere Punktwolke stellt die Varianten dar, die die Energiekriterien für gemeinnützigen Wohnungsbau erfüllen und daher Wohnbauförderung (WFB) erhalten. Es ist gut zu er- kennen, dass die Kostenoptima sehr flach ausfallen, d.h. das Energieniveau hat einen eher geringen Einfluss auf die Lebens- zykluskosten. Das ist darin begründet, dass den kapitalisier- ten Mehrkosten für höhere Standards in etwa gleich hohe Ein- sparungen bei den Energiekosten gegenüberstehen. Gleich- wohl liegen die optimalen Kombinationen (als rote Punktreihe dargestellt) im Bereich sehr niedriger Primärenergiekennwer- te. Der kostenoptimale Primärenergiebedarf liegt bei etwa 58 bis 80 kWh/m²_{BGF}a und damit weniger als der Hälfte des im Na- tionalen Plan Österreichs für 2021 vorgesehenen Grenzwerts von 160 kWh/m²_{BGF}a. Bei den Varianten ohne Förderungen ver- schiebt sich der kostenoptimale Bereich etwas nach oben und das Optimum ist noch flacher ausgebildet. Das kostenoptima- le Energieniveau im Neubau nach den Auswertungen des Pro- jekts KliNaWo wie folgt beschrieben werden:

- Das Kostenoptimum des Heizwärmebedarfs liegt bei Be- rechnung nach (OIB-RL-6 2015) bei der 10,5er Linie (vgl. OIB 2014). Dies entspricht in etwa einer Hülle mit Passivhaus-Qualität.
- Das im KliNaWo-Projekt bestimmte Kostenoptimum des

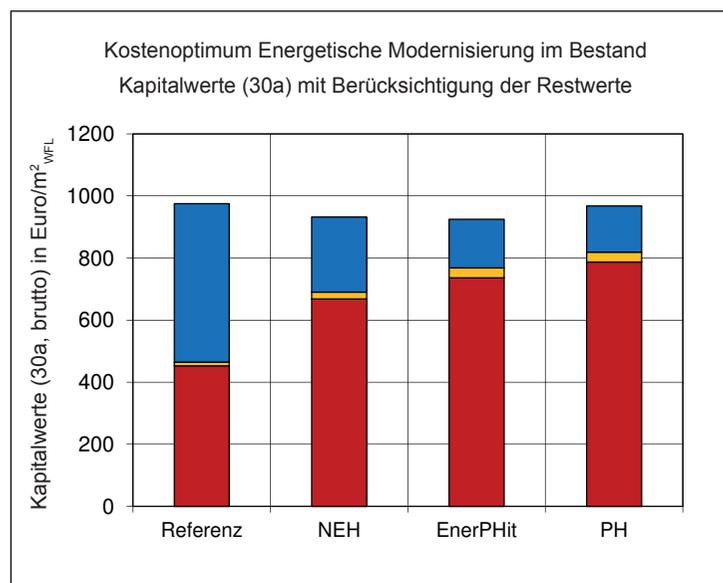
- Kostenoptimaler Bereich
- Berechnungsvariante
- Minimum der gesamten LZK (mit Förderung 50 Jahre)

Abbildung 2.8
Bestimmung des Kostenoptimums der gesamten Lebenszykluskosten über 50 Jahre (LZK 50a) in Abhängigkeit vom Primärenergiebedarf gemäß OIB 2011 der Gebäudevarianten mit Förderung (untere Punktwolke) und ohne Förderung (obere Punktwolke). Die jeweils optimalen Fälle sind rot hervorgehoben. Quelle: (EIV 2016).



- Energiekosten
- Wartungskosten
- Erstellungskosten

Abbildung 2.9
Bestimmung des Kostenoptimums für energetische Modernisierungen im Bestand am Beispiel eines Forschungsprojekts in Deutschland mit baugleichen Mehrfamilienhäusern. Für vier Varianten wurden die Kapitalwerte (30a) als Bruttokosten mit Berücksichtigung der Restwerte bestimmt. Die Variante „EnerPHit“ schneidet am günstigsten ab. Weitere Erläuterungen siehe Text. Quelle: (Ploss 2017).



Heizwärmebedarfs stimmt sehr gut mit dem in der Kostenoptimalitätsstudie des OIB ermittelten Werts überein. In dieser Studie wurde für den Standort Bregenz ein Kostenoptimum bei der 10,81er Linie bestimmt (vgl. OIB 2014).

- Das Kostenoptimum des Primärenergiebedarfs liegt bei Werten, die einem weit besseren Energieniveau entsprechen, als bislang in Gesamt-Österreich und in Vorarlberg als Mindestanforderung definiert wurde.

Die energetische Qualität der Neubauten im Jahr 2020 für das Effizienz-Szenario wurde so festgelegt, dass sie den dargestellten kostenoptimalen Werten des HWB und des PEB entspricht (siehe Tab. 1.3). Für die nun zur Ausführung bestimmte Variante des Mehrfamilienhauses im KliNaWo-Projekt liegen die U-Werte bei 0,09 W/m²K für das Dach, 0,12 W/m²K für die Außenwand und bei 0,14 W/m²K für die Kellerdecke. Die Fensternennwerte sind 0,75 W/m²K für den U_w -Wert und 0,53 für den g-Wert. Es wurde jedoch keine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sondern nur eine Abluftanlage eingebaut.

Kostenoptimum bei der energetischen Sanierung

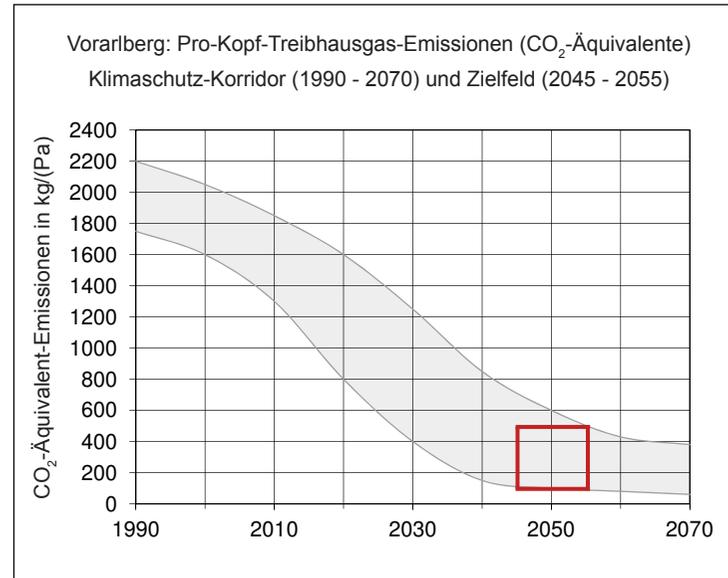
Analog zur Vorgehensweise im Projekt KliNaWo wurde das Kostenoptimum auch für die Sanierung bestimmt (vgl. Ploss 2017). Abb. 2.9 zeigt die Kapitalwerte für Finanzierung, Wartung und Energie für vier Varianten des untersuchten Mehrfamilienhauses:

- Variante „Referenz“ entspricht dem unsanierten Gebäude
- Variante „NEH“ entspricht einer Sanierung auf das Niveau eines Niedrigenergiehauses (entspricht in etwa den Anforderungen der Vorarlberger Bautechnikverordnung BTV)
- Variante „EnerPHit“ entspricht einer Sanierung mit passivhaustypischen U-Werten der Gebäudehülle, jedoch einigen sanierungstypisch verbleibenden Wärmebrücken und einer gegenüber einem Passivhaus etwas schlechteren Luftdichtigkeit
- Variante „PH“ entspricht einem Gebäude, das trotz der Hemmnisse im Bestand das Passivhausniveau erreicht.

Auch im Fall der energetischen Modernisierung ist das Optimum sehr flach ausgeprägt. Die niedrigsten Lebenszykluskosten treten in der Variante „EnerPHit“ auf. Diese hat passivhaustypische U-Werte zwischen 0,13 W/m²K (Dach) und 0,22 W/m²K (Kellerdecke). Es handelt sich bei dem Untersuchungsobjekt um ein kompaktes Gebäude mit sehr einfacher Geometrie, das nicht die typischen Vorarlberger Fälle repräsentiert. Zudem gelten die Kostenkennwerte der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Deutschland und können somit nicht direkt auf Vorarlberg übertragen werden. Im Effizienz-Szenario wurden die U-Werte daher für 2020 bewusst etwas schlechter festgelegt, damit die mittleren Fälle mit ungünstiger Geometrie und der für Vorarlberg bestandstypischen Hemmnissen erfasst werden. Sie liegen zwischen 0,19 W/m²K für das Dach und 0,29 W/m²K für die Kellerdecke (siehe Tab. 1.3).

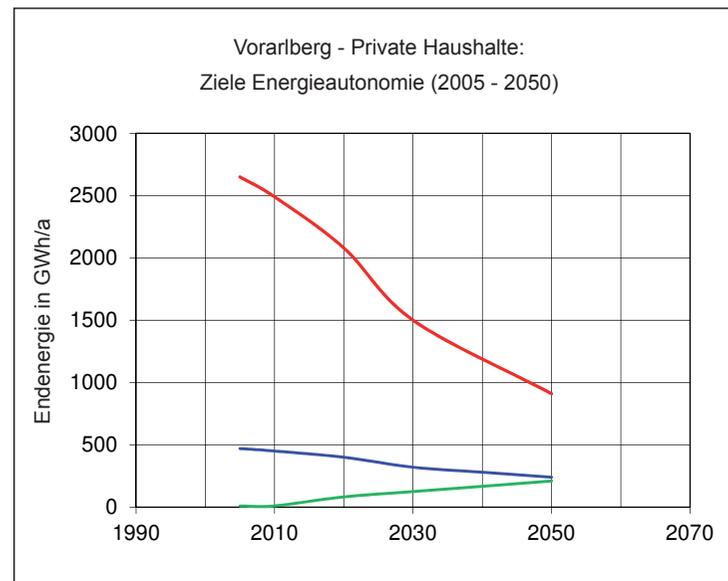
2.8 Energieperspektiven Vorarlberg

Unter Energieperspektiven wird hier verstanden, dass durch den beschlossenen Prozess der Energieautonomie und die langfristigen Klimaschutzziele ein Transformationsprozess der Energiesysteme stattfindet, der weg von den fossilen Risikotechnologien hin zu einer auf erneuerbare Energieträger gestützten Versorgung führt. Dieser Prozess wird mehrere Jahrzehnte dauern. Der Gebäudebestand spielt hierbei eine besondere Rolle. Hierbei interessiert besonders, wie der vorhandene Gebäudebestand und die Energieinfrastruktur zukunftsfähig umgebaut werden können. Dies soll aus **baukulturellen und ökonomischen** Gründen unter der Prämisse erfolgen, die Bausubstanz zu erhalten und an die neuen Bedingungen anzupassen, um sie trag- und zukunftsfähig zu machen. In einigen Bereichen ist dies jedoch nicht möglich. So ist z.B. mittel- bis langfristig ein Ausstieg aus den fossilen Heizsystemen (zunächst Heizöl, dann auch Erdgas) notwendig. Das benötigt jedoch einen angemessenen Vorlauf, damit sich die davon betroffenen Akteure rechtzeitig darauf vorbereiten können.



- Klimaschutz-Korridor
- Klimaschutz-Zielfeld

Abbildung 2.10
Entwicklung der Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen in kg/(Pa) CO₂-Äquivalenten im Sektor der privaten Haushalte in Vorarlberg in Übereinstimmung mit dem 2-Grad-Ziel. Darstellung als Klimaschutz-Korridor (1990 - 2070) und Klimaschutz-Zielfeld 2045 - 2055, wie in (Kern 2016) entwickelt. Im Zeitraum 2045 - 2055 sollen demnach die Pro-Kopf-Emissionen auf Werte zwischen 0,1 und 0,5 t/P CO₂-Äquivalenten zu liegen kommen. Je tiefer die Werte, desto wahrscheinlicher ist die Einhaltung des 2-Grad-Ziels. Der Korridor zeigt die Bandbreite entsprechender Klimaschutz-Minderungspfade auf.



- Wärmeanwendungen
- Haushaltsstrom
- Ausbau PV-Anlagen

Abbildung 2.11
Endenergiebezogene Ziele der Energieautonomie Vorarlberg im Sektor der privaten Haushalte. Die Ziele sind getrennt für alle Wärmeanwendungen (rot), den Haushaltsstrombedarf (blau) und für den PV-Ausbau (grün) dargestellt. Angabe der Werte in GWh/a.
Quelle: (EAV Vision 2010).

3 Ausgangssituation und -zustand

Die Erfassung und Dokumentation von Ausgangssituation und -zustand des Vorarlberger Wohngebäudebestandes ist einerseits wesentlicher Bestandteil der Studie und stellt zugleich eine unverzichtbare Vorarbeit für die späteren szenarienbasierten Modellrechnungen dar. Im Mittelpunkt stehen hierbei die städtebaulichen und siedlungsstrukturellen Merkmale des Quartiers sowie die baulich-energetischen Eigenschaften der Gebäude. Weiter ist die Versorgungsstruktur zu erheben. Auf dieser Basis können die Energiekennwerte der Gebäude anhand von Verbrauchserhebungen bzw. Bedarfsberechnungen bestimmt werden. Eine weitere für die Aufgabenstellung zentrale Erhebung betrifft die Klassifizierung der Eingriffsempfindlichkeit der vorhandenen Bausubstanz.

3.1 Strategische Gruppen im Hinblick auf die Bewertung der Eingriffsempfindlichkeit

Eine denkmal- und gestaltverträgliche Durchführung von energetischen Maßnahmen an Gebäuden muss die Empfindlichkeit der Bausubstanz gegenüber den jeweiligen Eingriffen mit berücksichtigen. Beispielsweise existieren ganz offensichtlich Fälle, bei denen ein Außenwärmeschutz nicht in Frage kommt. Aufgabe verantwortungsvoller Hausbesitzer, Architekten und Ausführender kann hier nur sein, sich schützend vor die entsprechenden Bauteile zu stellen und alternative Lösungsansätze zu suchen – bis hin zum Verzicht auf jegliche Energieeffizienzmaßnahmen.

Zur Bestimmung der verträglichen Ausführbarkeit von Energieeffizienzmaßnahmen im Bestand ist es notwendig, jedes Gebäude für sich in Augenschein zu nehmen und sinnvolle Bewertungs- und Abgrenzungskriterien zu entwickeln. Für die

Modellbildung des gesamten Wohngebäudeparks Vorarlbergs werden auf einer ersten, stark vereinfachenden Stufe drei strategische Gruppen unterschieden:

Denkmalgeschützter Bestand

Energieeffizienzmaßnahmen können nur in Abstimmung mit den Denkmalschutzbehörden ausgeführt werden. Bestandserhalt und Sicherung des ursprünglichen Erscheinungsbildes haben Vorrang. Welche Effizienzmaßnahmen verträglich ausgeführt werden können, ist in jedem Einzelfall genau zu prüfen und mit den Denkmalschutzbehörden abzustimmen.

Bedingt sanierbarer Bestand

Diese Fälle umfassen alle Bestandbauten, bei denen aus baukulturellen Gründen bestimmte Energieverbesserungsmaßnahmen (z.B. Außendämmungen, Fensteraustausch, Einzellüftungsgeräte an der Fassade) nicht ausgeführt werden können. Auch hier kann die Klärung der Verträglichkeit bzw. Ausführbarkeit nur im Einzelfall entschieden werden.

Voll sanierbarer Bestand

Hier lassen sich alle Energieeffizienzmaßnahmen aus baukultureller Sicht vollumfänglich ausführen. Dies erfordert jedoch bei jedem Einzelfall auch in gestalterischer Hinsicht besondere Sensibilität. Energieeffizienz ist keine Entschuldigung für entstellende Eingriffe. Weitere Hemmnisse können Platzmangel oder nachbarrechtliche Belange darstellen.

Neubau ab 2010

Im Neubau liegen im Regelfall keine Einschränkungen hinsichtlich der Durchführbarkeit von Effizienztechnologien oder bei der Integration von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung oder von erneuerbaren Heizsystemen vor.

3.2 Einteilung des Bestands in Baualtersklassen

Die Bildung einer Gebäudetypologie beruht ganz wesentlich auf der Einteilung des Gebäudebestands in Baualtersklassen (BAK). Aus drei Gründen ist das Baualter ein Schlüsselmerkmal für die energetischen Untersuchungen: Erstens lassen sich so in erster Näherung die energetischen Eigenschaften der Gebäudehülle (z.B. U-Werte von Außenwänden, Dächern, Kellerdecken, Fenstern) bestimmen. Dahinter steht die Beobachtung, dass die Baukonstruktionen von bestimmten Bauepochen in dieser Hinsicht relativ einheitlich sind. Zweitens ist die Kenntnis des Baujahres wichtig, weil dieses den Ausgangspunkt für die Bestimmung der allfälligen Instandsetzungs- und Erneuerungszyklen darstellt. Dies ist für die energetische Untersuchung elementar, weil im Berechnungsmodell die Zeitpunkte für die energetischen Modernisierungsmaßnahmen aus ökonomischen Gründen immer mit ohnehin anstehenden Instandsetzungen und Erneuerungen zusammenfallen. Dieses „Kopplungsprinzip“ wird im nächsten Unterabschnitt näher begründet und erläutert. Drittens enthalten zeitlich homogene Bestände mit Siedlungscharakter immer auch das Potenzial für weitergehende städtebauliche Maßnahmen in Kombination mit energetischen Modernisierungen, wie Nachverdichtungen – beispielsweise in Form von Dachgeschossausbau, Aufstockungen und Schallschutzbebauungen und sonstigen Ergänzungsbauten – oder eine Umgestaltung des Wohnumfelds. In Vorarlberg, das haben unsere Begehungen gezeigt, sind derartige Potenziale an mehreren Stellen erkennbar vorhanden.

Die Einteilung in Baualtersklassen ist an die Gebäudetypologie des IWU (vgl. IWU 2003) angelehnt:

- **BAK A (bis 1919):** Gebäude aus der Zeit bis zum Ende des ersten Weltkrieges.
- **BAK B (1920 - 1945):** Bauten aus der Zwischenkriegszeit.
- **BAK C (1945 - 1960):** Gebäude aus der frühen Nachkriegszeit bis 1960. Aufgrund von Materialengpässen wurden häufig sehr geringe Konstruktionsstärken ausgeführt.

Die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Außenbauteilen sind nicht immer eingehalten.

- **BAK D (1961- 1970):** Die Bauwirtschaft leidet nicht mehr unter Materialmangel. Die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Außenbauteilen (Taufwasserschutz) sind zumeist eingehalten.
- **BAK E (1971 - 1980):** Nach der ersten Ölpreiskrise wird der Wärmeschutz von Bauteilen erhöht.
- **BAK F (1981 - 1990):** Gebäude, die zwischen 1981 und 1990 errichtet wurden.
- **BAK G (1991 - 2000):** Gebäude deren Erstellung in den Zeitraum 1991 bis 2000 fällt.
- **BAK H (2001 - 2010):** Gebäude, die zwischen 2001 und 2010 errichtet wurden.

3.3 Bestimmung des energetischen Ausgangszustands der Gebäude

Die realitätsnahe Bestimmung der Ausgangssituation und des Ausgangszustandes ist eine wichtige Grundvoraussetzung für alle zukunftsorientierten energetischen Untersuchungen. Hierbei stellen sich eine Reihe von Fragen, die die aktuelle Diskussion, wie sich die Ziele der Energieautonomie Vorarlbergs im Wohngebäudebestand umsetzen lassen, im Kern betreffen. Dazu zählen:

- Wie hoch ist der Energieverbrauch der Bestandsgebäude?
- Welche Rolle spielen hierbei die Besonderheiten des Einzelfalls?
- Lassen sich systematische Zusammenhänge identifizieren, die es ermöglichen, im Hinblick auf Baualter, Nutzungs- und Gebäudeart sowie Hauptkonstruktionen homogene Gebäude in einer Typologie zusammenzuführen?
- Welche Rechenansätze zur Bestimmung der Heizwärme-, Endenergie- und Primärenergiebilanz sowie zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen ermöglichen es, die Verbrauchswerte realitätsnah abzubilden?

- Wie lassen sich verlässliche Nutzungsrandbedingungen bestimmen?

Die Beantwortung dieser Fragen ist wichtig, wenn es um die Bewertung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und die Verfolgung der langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudebestand geht. Benötigt wird eine verlässliche Basis, um die Wirksamkeit, die Kosten sowie die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen zuverlässig abzuschätzen.

Die Ausgangsbasis in Österreich ist, sofern man sich auf die gesetzlich eingeführten Berechnungsverfahren der OIB Richtlinie 6 mit den mitgeltenden Normen stützt, ungünstig. Sie führen in der Praxis häufig zu unrealistisch hohen Bedarfsabschätzungen für ältere, unsanierte Gebäude und damit zu Überschätzungen der Einsparpotenziale, so wie dies auch in Deutschland bei Anwendung des Berechnungsverfahrens der EnEV der Fall ist (vgl. Schröder et al. 2011). Bildlich gesprochen wird der Gebäudebestand „systematisch schlechtgerechnet“ (**Anm. 1**). Auf der Basis von unrichtigen Rechenwerten für Ausgangs- und Sanierungszustand kann keine belastbare Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgen. Ebenso gilt, dass sofern bereits der Ausgangszustand unzutreffend bestimmt ist, auch die künftigen Sanierungsschritte nicht realitätsnah abgebildet werden. Derartig methodisch fragwürdige Rechenansätze sind für die hier vorgesehene Untersuchung nicht geeignet.

Andererseits existieren im deutschsprachigen Raum eine Reihe systematischer Untersuchungen und daraus entwickelter Rechenverfahren, die es ermöglichen die Verbrauchswerte von Neubauten und Bestandgebäuden hinreichend genau zu berechnen. Sie basieren auf Rechenansätze der internationalen Norm ISO 13790. Entscheidend ist ferner, dass die Nutzungs- und Klimarandbedingungen sorgfältig und realitätsnah bestimmt werden. Beispiele hierfür sind das Berechnungsverfahren des Instituts für Wohnen und Umwelt (LEG Energiepass Heizung-Warmwasser) und das Passivhaus-Projektie-

rungs-Paket (PHPP). Entscheidend für ihre Eignung ist, dass die Rechenansätze über Messungen und dynamischen Simulationen validiert wurden. Für die Bestimmung der Bedarfswerte wird in dieser Studie ein einfaches stationäres Jahresbilanzverfahren verwendet, das sich eng an die beiden der o.g. Programmentwicklungen anlehnt. Es wird im folgenden Abschnitt genauer vorgestellt.

Teil- und Vollbeheizung

Als nutzungsspezifischer Aspekt spielt im un- und teilsanierten Bestand die Teilbeheizung der Wohnungen eine große Rolle. Häufig werden von den Bewohnern nur die Küchen, Ess- und Wohnzimmer vollständig beheizt, während bestimmte Zimmer bzw. Raumgruppen nur zeitweise oder gar nicht geheizt werden. Dadurch befindet sich die durchschnittliche Raumtemperatur der gesamten Wohnung deutlich unter der Normtemperatur von 20 °C, die bei Bedarfsberechnungen verwendet wird. Typischerweise liegen diese dann im Bereich zwischen 17 und 19 °C, fallweise sogar noch niedriger. Berücksichtigt man diesen Aspekt nicht bei den Berechnungen, sind die Heizenergieverbrauchswerte systematisch niedriger als die Heizenergiebedarfswerte.

Zusätzlich finden sich in umfangreicheren Beständen auch immer gewisse Anteile von Leerständen oder temporären Nutzungen (z.B. Ferienwohnungen), die ebenfalls zu geringeren Verbräuchen führen. Der gegenteilige Effekt zeigt sich, sobald diese Bestandsbauten wenigstens auf Niedrigenergiestandardniveau modernisiert werden. Dann realisieren die Bewohner, wie auch in heutigen Neubauten, höhere Temperaturniveaus von 20 - 24 °C (typischer Mittelwert: 21°C) indem sie von Teil- auf Vollbeheizung übergehen.

Lüftungsverhalten und Außenluftwechsel

Ein weiterer stark nutzungsabhängiger energetischer Parameter ist der Außenluftwechsel. Dieser setzt sich aus dem Fugen- und dem Fensterluftwechsel zusammen. Messungen in

Kennwerte der Gebäudetypen des Bestandes im Ausgangszustand 2010						U-Werte in W/m²K				g-Wert
Kürzel	BAK	strategischer Typ	Z	WE	EBF [m²]	Dach	Wand	Kellerdecke	Fenster	Fenster
10_EFH_A	bis 1919	Bed_sanierbar	1,8	1	125,1	1,00	1,20	1,00	2,40	0,75
11_EFH_B	1920 - 1945	Bestand_bis_2010_EFH	1,8	1	122,0	0,80	1,00	1,00	2,30	0,75
12_EFH_C	1946 - 1960	Bestand_bis_2010_EFH	1,4	1	120,4	0,60	0,90	1,00	2,20	0,75
13_EFH_D	1961 - 1970	Bestand_bis_2010_EFH	1,0	1	125,3	0,50	0,70	1,00	2,10	0,75
14_EFH_E	1971 - 1980	Bestand_bis_2010_EFH	1,5	1	130,2	0,40	0,60	0,80	2,00	0,70
15_EFH_F	1981 - 1990	Bestand_bis_2010_EFH	1,4	1	132,7	0,30	0,45	0,60	1,80	0,65
16_EFH_G	1991 - 2000	Bestand_bis_2010_EFH	1,6	1	137,7	0,25	0,30	0,50	1,60	0,65
17_EFH_H	2001 -2010	Bestand_bis_2010_EFH	2,0	1	141,8	0,20	0,25	0,25	1,20	0,60
24_ZFH_A	bis 1919	Bed_sanierbar	1,8	2	198,0	1,00	1,20	1,00	2,40	0,75
25_ZFH_B	1920 - 1945	Bestand_bis_2010_EFH	1,4	2	180,2	0,80	1,00	1,00	2,30	0,75
26_ZFH_C	1946 - 1960	Bestand_bis_2010_EFH	1,3	2	182,8	0,60	0,90	1,00	2,20	0,75
27_ZFH_D	1961 - 1970	Bestand_bis_2010_EFH	2,0	2	201,8	0,50	0,70	1,00	2,10	0,75
28_ZFH_E	1971 - 1980	Bestand_bis_2010_EFH	2,0	2	204,0	0,40	0,60	0,80	2,00	0,70
29_ZFH_F	1981 - 1990	Bestand_bis_2010_EFH	1,7	2	198,8	0,30	0,45	0,60	1,80	0,65
30_ZFH_G	1991 - 2000	Bestand_bis_2010_EFH	2,0	2	228,2	0,25	0,30	0,50	1,60	0,65
31_ZFH_H	2001 -2010	Bestand_bis_2010_EFH	1,7	2	207,6	0,20	0,25	0,25	1,20	0,60
38_MFH_A	bis 1919	Bed_sanierbar	2,0	6	489,0	0,70	1,00	1,00	2,40	0,75
39_MFH_B	1920 - 1945	Bestand_bis_2010_MFH	2,0	6	447,0	0,60	0,90	1,00	2,30	0,75
40_MFH_C	1946 - 1960	Bestand_bis_2010_MFH	2,0	6	396,6	0,60	0,80	0,90	2,20	0,75
41_MFH_D	1961 - 1970	Bestand_bis_2010_MFH	2,0	6	441,0	0,50	0,70	0,80	2,10	0,75
42_MFH_E	1971 - 1980	Bestand_bis_2010_MFH	2,0	6	492,6	0,60	0,60	0,70	2,00	0,70
43_MFH_F	1981 - 1990	Bestand_bis_2010_MFH	2,0	6	487,2	0,35	0,50	0,60	1,80	0,65
44_MFH_G	1991 - 2000	Bestand_bis_2010_MFH	2,0	6	460,8	0,25	0,40	0,50	1,60	0,65
45_MFH_H	2001 -2010	Bestand_bis_2010_MFH	2,0	6	472,8	0,20	0,25	0,25	1,20	0,60
52_WHA_A	bis 1919	Bed_sanierbar	3,0	15	855,0	0,70	1,00	1,00	2,40	0,75
53_WHA_B	1920 - 1945	Bestand_bis_2010_MFH	3,0	15	700,5	0,60	0,90	1,00	2,30	0,75
54_WHA_C	1946 - 1960	Bestand_bis_2010_MFH	3,0	15	1090,5	0,60	0,80	0,90	2,20	0,75
55_WHA_D	1961 - 1970	Bestand_bis_2010_MFH	3,0	15	957,0	0,50	0,70	0,80	2,10	0,75
56_WHA_E	1971 - 1980	Bestand_bis_2010_MFH	3,0	15	1138,5	0,50	0,60	0,70	2,00	0,70
57_WHA_F	1981 - 1990	Bestand_bis_2010_MFH	3,0	15	1053,0	0,35	0,50	0,60	1,80	0,65
58_WHA_G	1991 - 2000	Bestand_bis_2010_MFH	3,0	15	1080,0	0,25	0,40	0,50	1,60	0,65
59_WHA_H	2001 -2010	Bestand_bis_2010_MFH	3,0	15	1180,5	0,20	0,25	0,25	1,20	0,60
66_GWB_A	bis 1919	Bed_sanierbar	4,0	20	1580,0	0,70	1,00	1,00	2,40	0,75
67_GWB_B	1920 - 1945	Bestand_bis_2010_MFH	5,0	20	700,0	0,60	0,90	1,00	2,30	0,75
68_GWB_C	1946 - 1960	Bestand_bis_2010_MFH	4,0	20	1618,0	0,60	0,80	0,90	2,20	0,75
69_GWB_D	1961 - 1970	Bestand_bis_2010_MFH	6,0	20	1458,0	0,60	0,70	0,80	2,10	0,75
70_GWB_E	1971 - 1980	Bestand_bis_2010_MFH	5,0	20	1520,0	0,60	0,60	0,70	2,00	0,70
71_GWB_F	1981 - 1990	Bestand_bis_2010_MFH	4,0	20	1454,0	0,60	0,50	0,60	1,80	0,65
72_GWB_G	1991 - 2000	Bestand_bis_2010_MFH	4,0	20	1292,0	0,25	0,40	0,50	1,60	0,65
73_GWB_H	2001 -2010	Bestand_bis_2010_MFH	5,0	20	1254,0	0,20	0,25	0,25	1,20	0,60

Tab. 3.1
Auflistung aller Bestandstypen der Gebäudetypologie mit Angabe der Baualtersklasse, Geschosshöhe (Z), der Anzahl der Wohneinheiten (WE), der Energiebezugsfläche (EBF), und den U-Werten der Außenbauteile (Dach, Wand, Kellerdecke, Fenster) sowie dem g-Wert der Fenster. Die Werte beziehen sich auf den Ausgangszustand im Jahr 2010.

bewohnten Häusern zeigen neben den starken Unterschieden zwischen einzelnen Nutzern, die in „Viel-, Mittel- und Weniglüfter“ (vgl. Reiß/Erhorn/Ohl 2001) eingeteilt werden können, auch eine starke jahreszeitliche Abhängigkeit des Außenluftwechsels. Während im Sommer und in den Übergangszeiten viel gelüftet wird, sinken die Luftwechselraten bei Fensterlüftung im Kernwinter stark ab. Dies führt einerseits häufig zu ungenügender Luftqualität in Wohnungen, Klassenzimmern und anderen Hauptnutzungsräumen. Andererseits liegen dadurch die Lüftungswärmeverluste in Bestandsgebäuden häufig deutlich unter den Bedarfswerten, die unter Zugrundelegung von Standardnutzungskennwerten berechnet wurden und die sich aus guten Gründen an einem hygienisch ausreichenden Luftwechsel orientieren. Diese Frage wird im folgenden Kapitel nochmals aufgegriffen, wenn es um die Bestimmung des Rechenwertes für den energetisch wirksamen Luftwechsel im Kohortenmodell geht (**Anm. 2**).

Letzte umfangreiche Sanierung

In den meisten Fällen stimmen die Zustände der vorgefundenen Gebäude nicht mehr mit dem ursprünglichen Zustand überein. Selbst bei denkmalgeschützten Gebäuden sind in der Vergangenheit bestimmte Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen durchgeführt worden, allerdings nur in wenigen Fällen auch in Kombination mit energetischen Maßnahmen.

Von den voll sanierbaren Gebäuden haben bereits einige umfangreichere energetische Sanierungen hinter sich, die jedoch nicht immer eine zukunftsweisende Qualität aufweisen. In den anderen Fällen sind die bislang ausgeführten energetischen Maßnahmen am Gebäude auf Teilschritte beschränkt, die oftmals wenig systematisch ausgeführt worden sind. Typisch hierfür sind beispielsweise:

- Teildämmung bestimmter Fassadenbereiche (z.B. Brandwände).
- Austausch von einzelnen Fenstern und Verglasungen mit unterschiedlichen energetischen Qualitäten.

- Speziell bei Flachdachsanierungen und Dachausbauten wurden regelmäßig Dachdämmungen ausgeführt.

Soweit möglich, wurden die bisher bereits durchgeführten Sanierungen bei der Bestimmung der Ausgangswerte, die in Tabelle 3.1 für jeden Gebäudetyp dokumentiert ist, berücksichtigt. Dies erfolgte über eine Auswertung von Energieausweisen, die Befragung von Experten und Vor-Ort-Begehungen. Jedoch wird hier darauf hingewiesen, dass die genannten Werte gewisse Unsicherheiten beinhalten. Im Laufe des Betrachtungszeitraums, d.h. nach einigen Instandsetzungs- und Erneuerungszyklen im Bestand, spielen diese Fehler eine immer geringere Rolle bei der Bestimmung der Heizwärme-Kennwerte. Sie geraten, bildlich gesprochen, immer mehr „in Vergessenheit“.

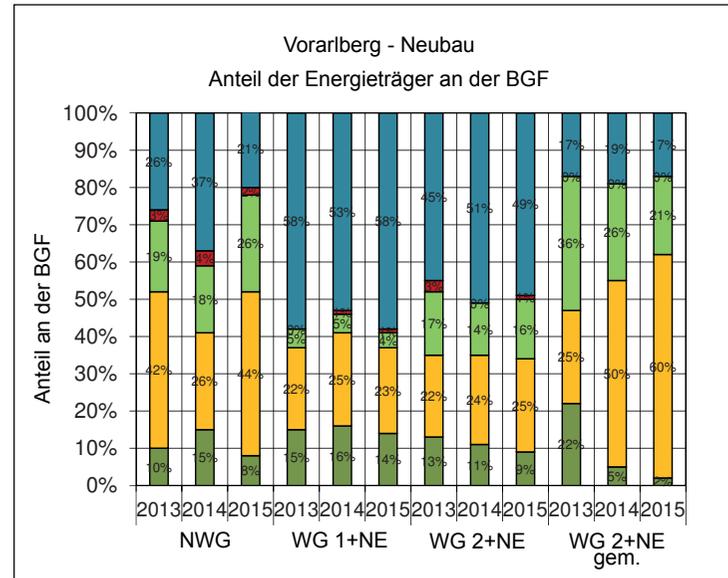
3.4 Struktur der Wärme- und Stromversorgung

Die derzeitige und historische Verteilung der Wärmeerzeugung der Vorarlberger Wohngebäude von 1990 bis 2015 wurde aus verschiedenen Quellen hergeleitet. Der derzeitige Stand – bezogen auf das Jahr 2015 – wurde unter anderem aus den Auswertungen der Energieausweiszentrale hergeleitet (vgl. EZV 2015, EZV 2015a, EZV 2016). In der Energieausweiszentrale sind für etwa 37% der Bruttogeschossfläche der Wohngebäude Energieausweise vorhanden, so dass die Angaben zur Verteilung der Wärmeerzeuger, vor allem bei den Neubauten, als repräsentativ angesehen werden können. Diese Daten wurden anschließend mit anderen Quellen verglichen. Vor allem die historische Verteilung seit 1990 wurde aus Berichten der Wohnbauförderung Vorarlberg (vg. EIV 2015) und aus verschiedenen Statistiken der Statistik Austria (vgl. Statistik Austria 2015, Statistik Austria 2016, Statistik Austria 2016a) sowie aus Daten der Energieförderung (vgl. AVL 2017) hergeleitet. Bei inkonsistenten oder widersprüchlichen Daten wurden plausible Annahmen getroffen.

Die Auswertung gemäß Abb. 3.1 zeigt, dass im Wohnungsneubau praktisch keine Ölheizungen und keine direkt-elektrischen Systeme mehr zum Einsatz kommen. Zu erkennen ist, dass der Anteil der Wärmepumpen der nicht-gemeinnützigen Wohnungsneubauten 2015 im Mittel bei knapp 50 % liegt und in der Vergangenheit stark zugenommen hat. Bei den gemeinnützigen Wohnbauten liegt der Anteil der Wärmepumpen mit 17-19 % weit niedriger. Die Fernwärme besitzt vor allem beim Neubau der MFH Bedeutung während die Biomasse mit ca. 10 % hier eher rückläufig ist. Bei den Einfamilienhäusern ist ebenfalls ein leichter Rückgang bei der Biomasse festzustellen. Während der Anteil von Gasheizungen in Einfamilienhäusern und nicht-gemeinnützigen Gebäuden mit zwei und mehr Wohneinheiten konstant bei knapp 25% liegt, ist der Gasanteil im gemeinnützigen Wohnungsbau von 2013 bis 2015 von 25 auf 60% gestiegen. Diese starke Zunahme des Energieträgers Gas geht vor allem zu Lasten der Systeme mit Biomasse und Fernwärme, deren Marktanteile in den letzten Jahren drastisch abgenommen haben.

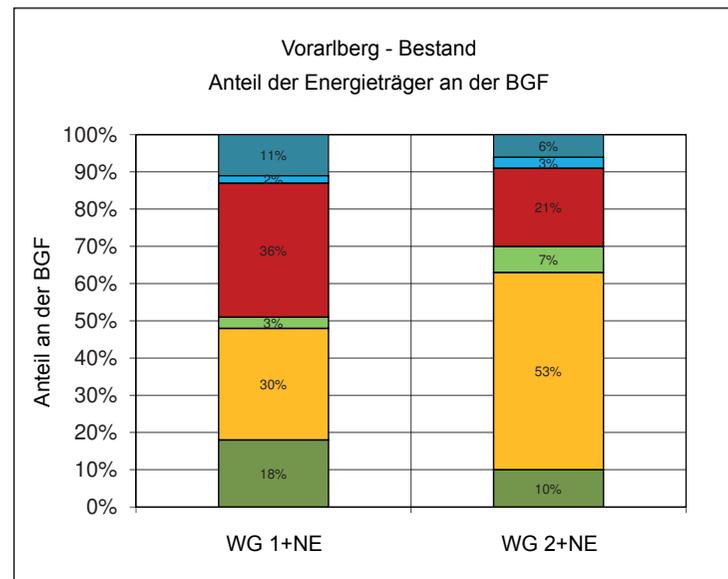
In den Bestandsgebäuden (siehe Abb. 3.2) spielt Öl noch eine große Rolle. Vor allem bei den EFH ist Öl mit 36% vor Gas mit 30% noch der bedeutendste Energieträger, allerdings seit 1990 mit stark fallender Tendenz. Fernwärme spielt eine eher untergeordnete Rolle, Biomasse liegt bei ca. 10-15% und hat sich dort stabilisiert. Die sinkenden Anteile von Ölheizungen wurden in der Vergangenheit vor allem durch eine Zunahme von Gasheizungen und – in geringerem Ausmaß von Wärmepumpen kompensiert.

Die Ausgangssituation bei der Stromversorgung bzw. bei der der Stromerzeugungsstruktur wird im Abschnitt 1.3 sowie in Abschnitt 4.7 mitbehandelt. In Abb. 4.15 (S. 70) finden sich detaillierte Angaben zur Stromerzeugungsstruktur Österreichs ab dem Jahr 1990, wie sie für die Berechnungen zum Primärenergiebedarf und den resultierenden Treibhausgasemissionen in dieser Studie zugrundegelegt wurden..



- Strom - Wärmepumpen
- Heizöl
- Fern- / Nahwärme
- Erdgas
- Biomasse

Abbildung. 3.1
Entwicklung der Struktur der Wärmeversorgung der Gebäude Vorarlbergs, die im Zeitraum 2013 - 2015 neu gebaut wurden. Die Werte sind auf deren Bruttogeschossfläche (BGF) bezogen. NWG: Nicht-Wohngebäude, WG 1NE: Einfamilienhäuser, WG 2+NE: Private Wohngebäude mit mindestens 2 Wohneinheiten WG 2+NE gem.: Gemeinnützige Wohngebäude mit mindestens 2 Wohneinheiten. Quelle: (EIV 2016).



- Strom - Wärmepumpen
- Strom - direkt
- Heizöl
- Fern- / Nahwärme
- Erdgas
- Biomasse

Abbildung. 3.2
Struktur der Wärmeversorgung der Wohngebäude Vorarlbergs im Bestand, bezogen auf deren Bruttogeschossfläche (BGF), für die Energieausweise im Zeitraum 2013 bis 2015 ausgestellt worden sind. WG 1NE: Einfamilienhäuser, WG 2+NE: Wohngebäude mit mindestens 2 Wohneinheiten. Spezielle Auswertung der Energie-Ausweis-Zentrale im Rahmen der Szenarienstudie. (Quelle: EZV 2017)

4 Szenarien und Modellbildung

Die zentrale Untersuchungsfrage der Studie lautet, wie die Ziele der Energieautonomie Vorarlberg in der kurz- mittel- und langfristigen Perspektive erreicht werden können und welche Maßnahmen im Sektor der privaten Haushalte zu treffen sind. Hierbei wird nur die Betriebsenergie (Heizen, Lüften, Warmwasser und sämtliche Stromwendungen in den Wohngebäuden) betrachtet. Eine derartige Fragstellung lässt sich nicht direkt beantworten, sondern erfordert das Durchspielen verschiedener Handlungsstrategien, z.B. mit Hilfe von Modellen und Szenarien. In diesen werden die wesentlichen dynamischen Veränderungen, ausgehend von heute zu beobachtenden Entwicklungen, über verhältnismäßig lange Zeiträume von mehreren Jahrzehnten abgebildet.

Szenarien stellen komplexe „Wenn-Dann“-Aussagen dar. Dabei können unterschiedliche Motivationen oder Zielsetzungen zum Tragen kommen. Zunächst ist es wichtig, Szenari-

en von Prophezeihungen oder Prognosen zu unterscheiden, die entweder unbedingte Aussagen enthalten oder Vorhersagen mit (behaupteter) hoher Eintrittswahrscheinlichkeit aufstellen. Szenarien hingegen können immer nur bedingte Aussagen treffen, d.h., sie sind an die getroffenen Randbedingungen und Annahmen gebunden und haben nicht den Anspruch, dass die beschriebenen Entwicklungen auch tatsächlich so eintreffen werden. Szenarien haben vielmehr das Ziel aufzuzeigen, welchen Einfluss bestimmte Entscheidungen oder Handlungsoptionen auf die künftige Entwicklung eines Systems oder einer Gesellschaft haben können. Aus methodischen Gründen werden häufig mehrere Szenarien entwickelt. Dabei werden prinzipielle Handlungspfade in Bezug auf gesellschaftliche und politische Entscheidungsoptionen und deren Konsequenzen gegenübergestellt. Je nach Aufgabenstellung, Motivation oder Zielsetzung lassen sich verschiedene Typen von Szenarien unterscheiden (siehe Abb. 4.1):

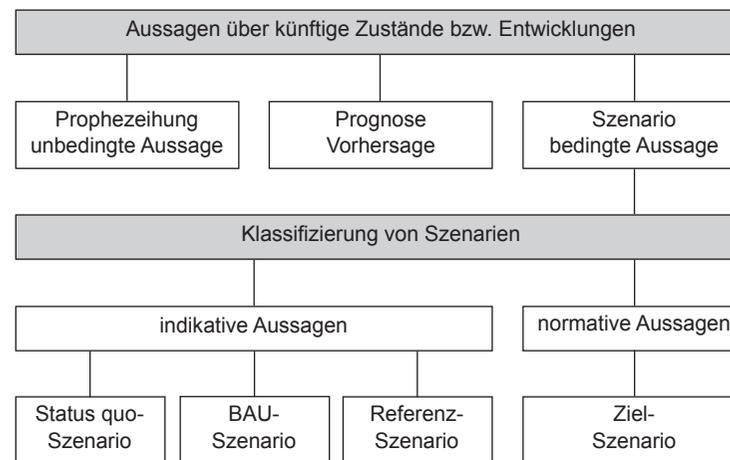


Abb. 4.1
Abgrenzung zwischen Prophezeiung, Prognose und Szenario. Klassifizierung von Szenarien nach Art und Weise der beabsichtigten Aussagen. Inhalt und Darstellung wurden in Anlehnung an (EWI/prognos 2005, S. 2) leicht abgewandelt.

- In Referenz- bzw. Business-as-usual-(BAU)-Szenarien werden langfristige Entwicklungstrends mit wahrscheinlichen Reaktionen von Wirtschaft, Gesellschaft und Politik auf heute bereits übersehbare künftige Problemstellungen und Herausforderungen verknüpft. Beispielsweise werden energiepolitische Weichenstellungen wie die Wohnbauförderung und der bisher erfolgte Ausbau der erneuerbarer Energieversorgungen oder die bisherige Klimaschutzpolitik miteinbezogen.
- Im Gegensatz dazu wird in Zielszenarien versucht das Augenmerk auf normative Aussagen zu richten, d.h., sie orientieren sich an übergeordneten Zielen, die als allgemein wünschenswert gelten und versuchen herauszuarbeiten, unter welchen Randbedingungen und mit welchen Mitteln diese Ziele erreicht werden können.

Kurzbezeichnung Szenario	Raumwärme - Heizung	Warmwasserbereitung	Lüftung	Haushaltsgeräte / Beleuchtung
„BUSINESS - AS - USUAL“	Effizienzverbesserungen (Nutzenergiebedarf, energetische Qualität der Komponenten) orientieren sich an heute absehbaren Tendenzen (z.B. leichte Verschärfungen der OIB und BTV alle 3-4 Jahre für Neubau und Sanierung), Technologieentwicklungen bei Geräten und Haustechnik wie in der Vergangenheit zu beobachten; Stromversorgung gemäß Szenario „WEM“ der Austrian Energy Agency (AEA 2015).			
	Moderate Effizienzsteigerungen (OIB und Fortschreibungen)	Dezentrale Systeme werden nach und nach durch zentrale ersetzt	Ab 2010: Abluftanlagen Anteil der Lüftungen mit Wärmerückgewinnung, im Bestand und im Neubau, wie bisher	Moderate Effizienzverbesserungen, wie in der Vergangenheit zu beobachten
„EFFIZIENZ“	Die energetischen Qualitäten der Bau- und Technikkomponenten orientieren sich am Kostenoptimum im Neubau (vgl. KliNaWo-Studie) bzw. dem Kostenoptimum bei energetischen Sanierungen im Bestand (EnerPhit-Standard). Bei Erneuerungen von Technikkomponenten (Haustechnik, Haushaltsgeräte, Beleuchtung) werden Altgeräte durch energieeffiziente Geräte ersetzt. Der Ausstieg aus Ölheizungen wird bis 2060 vollzogen. Die Stromerzeugung erfolgt gemäß dem Szenario „WAW“ der Austrian Energy Agency (AEA 2015).			
	Ab 2020: Neubau gleichwertig wie Passivhaus-Standard; Energetische Modernisierungen mit Passivhauskomponenten	Einsatz wassersparender Armaturen; WW-Anschlüsse für Waschmaschinen und Geschirrspüler Hochwertige Dämmung Leitungen	Ab 2020: vermehrt Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung bei Neubauten und im Bestand	Ausstattung und Erneuerung von Geräten/Beleuchtung mit stromeffizienten Geräten (Bestgeräte)
„EFFIZIENZ - PLUS“	Nochmals gesteigerte Energieeffizienz durch heute absehbare technologische Weiterentwicklungen, insbesondere bei Bauteilen (Hüllkonstruktionen Hochleistungsfenster, Vorgefertigte wärmebrückenfreie Anschlusskomponenten) und Technikkomponenten (Wärmepumpensysteme, Pumpen und sonstige Hilfsaggregate, Lüftungsanlagen, Haushaltsgeräte); Stromerzeugung gemäß dem Szenario „WAM+“ der Austrian Energy Agency (AEA 2015).			
	Gegenüber Effizienz-Szenario nochmals verbesserte Qualitäten: - Hüllkonstruktionen (Dämmqualitäten, Vakuumdämmung, u.ä.) - Wärmebrückenfreie Anschlüsse - Verbesserte Passivhausfenster - Effizientere Wärmepumpen	Besonders wassersparende Armaturen und Haushaltsgeräte Abwasser-Wärmerückgewinnung (z.B. Duschwasser)	Entwicklung von hochwertigen Lüftungsanlagen mit höherer Stromeffizienz, verbesserter Dichtigkeit und Gerätedämmung. Luftqualitätsgesteuerte Volumenregelung.	Technologische Weiterentwicklungen bei Hauptverbrauchern im Haushalt (Kühlgeräte, Waschmaschinen, Trockner, Geschirrspüler) durch den Einsatz von Steuerelektronik, Wärmepumpen und Vakuumdämmungen

Tab. 4.1: Kurzübersicht zu den wesentlichen Randbedingungen und Annahmen in den Szenarien. Quelle:abgeändert nach (Vallentin 2011, S. IV-3).

4.1 Beschreibung der Szenarien

Szenarien erzählen eine Geschichte, indem sie versuchen, künftige Entwicklungen zu beschreiben. Das hier betrachtete System ist der Wohngebäudepark Vorarlbergs und sein künftiger zu erwartender Energiebedarf sowie die dadurch verursachten Treibhausgasemissionen. Geklärt werden soll, mit welchen Maßnahmen, Standards und Strategien die langfristigen Ziele der Energieautonomie bis 2050 erreicht werden können. Um diese Frage beantworten zu können, wurden vier Hauptszenarien gebildet (siehe Tab. 4.1):

Status-quo-Szenario

Das Status-quo-Szenario hat eine methodische Funktion als Vergleichsmaßstab. Die energetischen Qualitäten des Jahres 2010 werden hier unverändert in die Zukunft fortgeführt, d.h. es wird angenommen, dass danach keine technologischen Veränderungen stattfinden. Im Gegensatz dazu werden die Mengenkomponenten (z.B. Bevölkerung, Wohnflächen) wie in den anderen Szenarien weiterentwickelt. Dadurch wird es möglich, die Effizienzsteigerungen und Dekarbonisierungserfolge der anderen Szenarien zu quantifizieren. Damit dient das Status-quo-Szenario quasi als Eichmaßstab und Referenz für die erreichten Energie- und Emissionsminderungen.

Business-as-usual-Szenario

Das Business-as-usual-Szenario beschreibt eine Strategie des „Weiter wie bisher“. Bei energetischen Modernisierungen werden zunächst die heute üblichen Baukonstruktionen eingesetzt. Nur zögerlich kommen bessere Qualitäten zum Zuge. Die energetischen Kennwerte der sanierten Bauteile und Lüftungskonzepte entsprechen damit erst auf längere Sicht in etwa Niedrigenergiequalität. Die Wärme- und Stromversorgung im Business-as-usual-Szenario bleibt auch nach 2020/30 wegen der weiterhin hohen Bedarfswerte noch länger auf fossile Energieträger gestützt. Im Hinblick auf die Struktur der Wärmeversorgung werden die beobachteten Trends der letzten Jah-

re unverändert fortgesetzt. Die Struktur der Stromerzeugung entspricht dem „WEM“-Szenario der Austrian Energy Agency (AEA 2015), in dem die aktuell durchgeführten bzw. bereits beschlossenen Maßnahmen im österreichischen Kraftwerkspark abgebildet sind.

Effizienz-Szenario

Im Effizienz-Szenario wird eine andere Zukunft beschrieben, in der die energetische Ausrichtung im Neubau, bei Modernisierungen im Bestand und bei den Versorgungslösungen auf die Ziele der Energieautonomie Vorarlberg bezogen sind. Hier weisen die gebäudebezogenen Komponenten (Außenwände, Fenster, Dächer, Kellerdecken, Lüftungskonzepte, Elektrogeräte) eine hohe Qualität auf, z.B. Passivhauskomponenten, ohne die Kriterien des Passivhausstandards im Einzelnen einhalten zu müssen. Dies gilt beispielsweise für den Einsatz von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, der im Effizienz-Szenario nicht zwingend vorgegeben ist. Der Einsatz von Effizienzmaßnahmen (z.B. Außenwärmeschutz) erfolgt nur dort, wo dies unter Denkmalschutzaspekten verträglich ist. Wegen des geringeren Wärme- und Strombedarfs der Gebäude kann der Anteil der erneuerbaren Energieträger im Vergleich zum Business-as-usual-Szenario deutlich gesteigert werden. Dies hat mittel- bis langfristig direkte Auswirkungen auf die Struktur der Wärmeversorgung, die einen Ausstieg aus den fossilen Brennstoffen im Zeitraum 2050 - 2060 in greifbare Nähe rücken. Die Stromerzeugung wurde gemäß dem „WAM“-Szenario der Austrian Energy Agency (AEA 2015) modelliert, das sich an der Energiestrategie Österreichs und dem Klimaschutzgesetz orientiert.

Effizienz-Plus-Szenario

Dieses explorative Szenario versucht abzuschätzen, wie die Auswirkungen von künftigen, bereits heute absehbaren, technologischen Weiterentwicklungen bei den bau- und haustechnischen Systemen auf die Effizienz- und Klimaschutzstrategien sein könnten. Im Effizienz-Plus-Szenario werden darüber-

hinaus bei Modernisierungen im Bestand dann Innendämmungen eingesetzt, wenn ein Außenwärmeschutz nicht in Frage kommt. Sie werden immer dann ausgeführt, wenn ohnehin eine Fenstererneuerung ansteht. Zusätzlich kommen ab 2020/30 im Neubau und bei allen energetischen Modernisierungen gegenüber dem Effizienz-Szenario nochmals deutlich verbesserte Technologien bei Fenstern, Dämmsystemen und Lüftungsanlagen zum Einsatz. Zusätzlich werden ab 2020/30 die Gebäude konsequent mit Elektrogeräten mit besonders hoher Stromeffizienz ausgestattet. Es wird erwartet, dass diese höheren Qualitäten bis dahin dem Kostenoptimum entsprechen und von daher auch wirtschaftlich sinnvoll einsetzbar sind. Dahinter steht die Beobachtung, dass die technologischen Entwicklungen im Bereich der Effizienzmaßnahmen und bei den regenerativen Energiesystemen i.d.R. viel schneller und durchgreifender erfolgen, als zunächst vermutet. Dies hat auch Auswirkungen auf die Struktur der Wärmeversorgungen, weil durch den, gegenüber dem Effizienz-Szenario nochmals geringeren Wärmebedarf, auch die Anteile regenerativ gestützter Wärmeversorgungen steigen kann. Im Hinblick auf die Stromerzeugung folgt das Effizienz-Plus-Szenario den Vorgaben des Szenario „WAM +“ der Austrian Energy Agency (AEA 2015), in dem ab 2020 eine deutliche Reduktion des Strombedarfs angenommen wird, um dadurch eine weitere Reduktion der strombedingten Treibhausgase zu erreichen.

4.2. Bilanzierung in den Szenarien

In der Übersichtsdarstellung Abbildung 4.2 sind die wesentlichen Bilanzgrößen und deren gegenseitigen Abhängigkeiten zusammengestellt:

- Der Heizwärmebedarf Q_H wird anhand der Bilanz der Wärmeströme innerhalb der Bilanzgrenze der Gebäudehülle (in Abb. 4.2 gestrichelt dargestellt) bestimmt. Die Wärmeverluste bestehen aus der Summe der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste. Die Wärmegewinne setzen sich

aus den passiv-solaren und den internen Wärmegewinnen zusammen. Genauere Angaben zu den einzelnen Berechnungsschritten der in dieser Arbeit verwendeten stationären Bilanzverfahren (LEG Energiepass Heizung und Warmwasser) und (PHPP 2007), die sich an der internationalen Norm ISO 13790 orientieren, finden sich in den entsprechenden Handbüchern und in (Vallentin 2011, S. IV- 6 ff.; VI-46 ff. und VI-60).

- Der Heizenergiebedarf $Q_{E,H}$ setzt sich aus dem Heizwärmebedarf und den Verlusten des Heizungssystem zusammen. Letztere beinhalten die Speicher-, Verteil- und Übergabeverluste sowie die Verluste der Wärmeerzeugung.
- Analog wird der Energiebedarf für Warmwasser $Q_{E,TW}$ aus dem Nutzwärmebedarf für Warmwasser, den Speicher-, und Verteilverlusten sowie den Verlusten der Wärmeerzeugung bestimmt.
- Es werden alle Stromnutzungen in den Gebäuden berücksichtigt. Für die Szenarien ist dies deshalb zwingend, weil ansonsten der Energiebedarfs des Sektors der privaten Haushalte nur unvollständig wiedergegeben werden würde. Die Stromanwendungen umfassen den Hilfstromereinsatz in der Haustechnik (z.B. Ventilatoren, Pumpen, Regelung), den Haushaltsstrombedarf (z.B. Kochen, Waschen, Trocknen, Kühlgeräte) und alle sonstigen Stromanwendungen (z.B. Beleuchtung, Telekommunikation, Unterhaltungselektronik, Aufzüge und sonstige Gemeinschaftsanlagen).
- Aus der Summe von Heizenergie-, Warmwasser- und Strombedarf wird der Endenergiebedarf Q_E berechnet. Diese Größe entspricht genau dem Energieinhalt (z.B. Heizwert) der eingesetzten Energieträger, wie sie sich über Zähler oder die Lieferungen frei Haus ablesen bzw. bestimmen lassen.
- Der Primärenergiebedarf bezieht darüberhinaus alle Vorketten eines Energieträgers mit ein, d.h. es wird zusätzlich der Energieaufwand für Exploration, Förderung, Transport, Umwandlungen und Lieferung frei Haus aufaddiert.

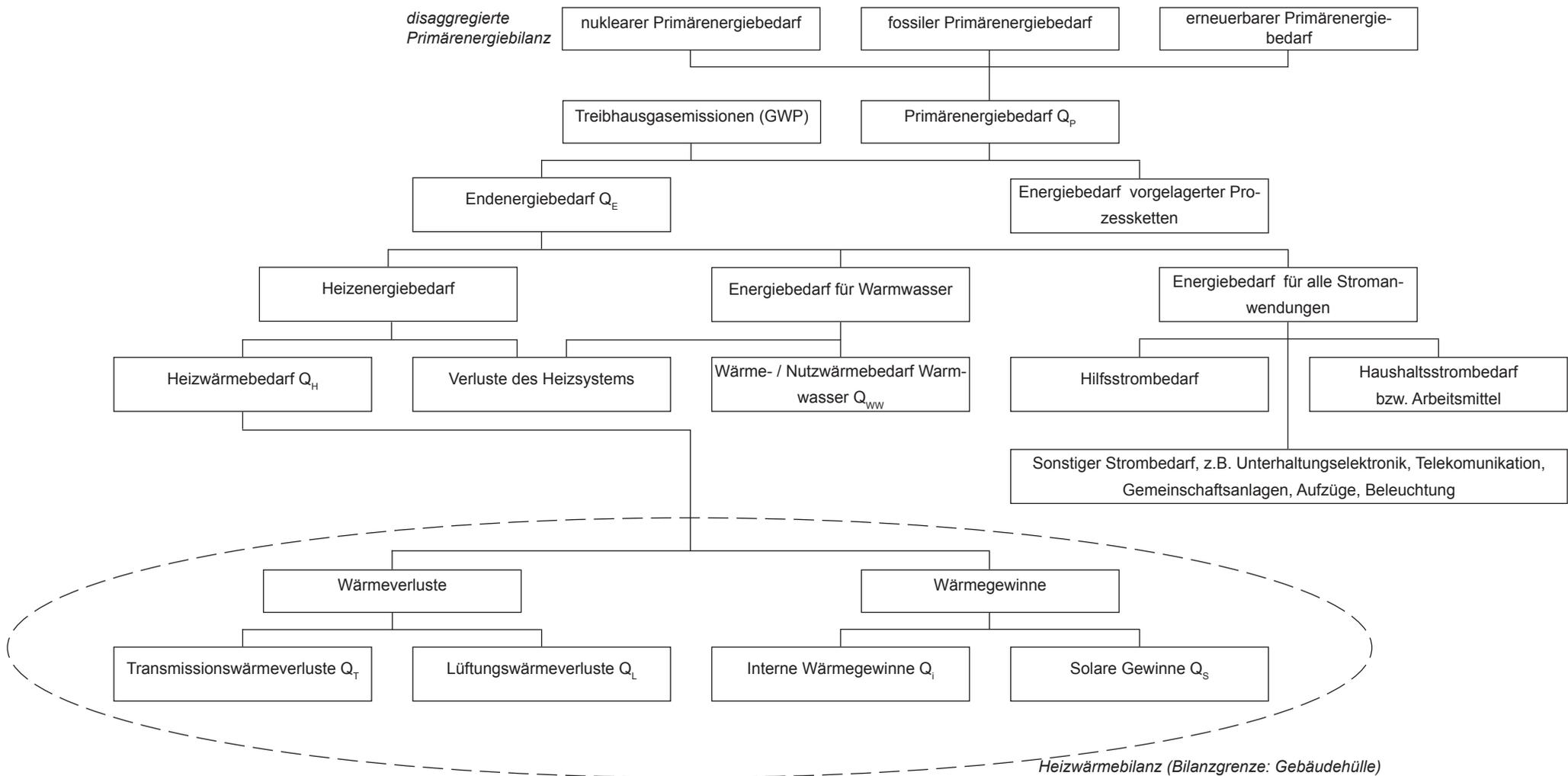


Abb. 4.2: Systematik der Energiebilanzierung in den Untersuchungen. Bei der Primärenergiebilanz wird nur der nicht erneuerbare Teil (fossil, nuklear) ausgewiesen.
Quelle: (Vallentin 2011, S. IV-5).

Üblicherweise geschieht dies über Primärenergiefaktoren. Hierbei wird abhängig vom eingesetzten Energieträger der Primärenergieaufwand je Endenergieeinheit ausgewiesen.

- Die Treibhausgasemissionen werden ähnlich wie die Primärenergie über endenergiebezogene Emissionsfaktoren bestimmt, die angeben wie groß die CO₂-Äquivalent-Emissionen je Endenergieeinheit sind. Dabei werden neben Kohlendioxid auch die anderen treibhauswirksamen Gase zu einer Wirkungsgröße, dem sog. „Global Warming Potential“ (GWP), zusammengeführt.

Durch die Systematik der Energiebilanzierung sind die Bilanzgrenzen und damit auch der Betrachtungsrahmen der Szenarien festgelegt.

4.3 Kohortenmodell

Die denkbaren Entwicklungen im Vorarlberger Wohngebäudepark 2010 - 2070 werden in einem Kohortenmodell dargestellt. Dort durchlebt jeder Repräsentant eines Gebäudetyps einen Lebenszyklus, d.h., es werden in vorgegebenen Zeitabständen Erneuerungs- und Ersatzmaßnahmen durchgeführt. Diese Zyklen sind von der mittleren Nutzungsdauer der entsprechenden Komponenten bzw. Bauteile abhängig (siehe Tab. 4.7). Wie schon das Wort „Kohorte“ ausdrückt, wird eine größere Gruppe von repräsentativen Hausgruppen bzw. Gebäuden über den gesamten Betrachtungszeitraum im Hinblick auf die Veränderungen des energetischen Zustands gleichzeitig beobachtet bzw. modellhaft abgebildet. Dieses Modell hat den Vorteil, dass die Gesamtentwicklung über einen großen Zeitraum als Folge vieler individueller Einzelschritte nachvollziehbar bleibt. Damit ist es möglich, gleichzeitig die Trägheit aber auch die Dynamik des Gesamtsystems abzubilden. Das Modell weist ein hohes Maß an Transparenz auf, weil jeder Einzelschritt in seine seinen Auswirkungen auf das Gesamtsys-

tem abgebildet wird. Dadurch kann vermieden werden, dass im Modell schwierig kontrollierbare, pauschale Annahmen getroffen werden müssen. Damit werden die energetischen Konsequenzen nachvollziehbar, die mit der Wahl verschiedener energetischer Qualitäten bei Sanierungs- bzw. Neubaumaßnahmen verbunden sind.

Gemäß dem Kopplungsprinzip wird davon ausgegangen, dass energetische Verbesserungen im Bestand immer in Kombination mit einer ohnehin anstehenden Maßnahme ausgeführt werden. Sobald beispielsweise der Anstrich oder der Außenputz einer Fassade erneuert wird, kann zusätzlich eine Außendämmung (z.B. in Form eines Wärmedämmverbundsystems) angebracht werden. Dies erhöht die Wirtschaftlichkeit der energetischen Maßnahmen erheblich und entspricht darüber hinaus dem zu beobachtenden Verhalten von Hausbesitzern und Wohnungseigentümern (vgl. Frondel et al. 2006, S. 89).

Das in der gegenständlichen Studie verwendete Kohortenmodell besteht aus insgesamt 70 Gebäudetypen. Dabei wurde die Systematik der deutschen Gebäudetypologie, wie sie in (IWU 2003) hergeleitet und dokumentiert ist, als Vorlage verwendet und auch für die künftigen Neubauten weitergeführt:

- Der heute vorhandene Gebäudebestand wird nach Baualter und Wohnform in Klassen eingeteilt.
- Die Abgrenzungen zwischen den Baualterklassen orientieren sich an historischen Einschnitten, den Zeitpunkten statistischer Erhebungen und der Einführung neuer wärmetechnischer Vorschriften gemäß den Klassifizierungen in der Statistik Austria.
- Um verschiedene Gebäudegrößen abzubilden, wird – ebenfalls entsprechend den Klassifizierungen in der Statistik Austria – zwischen Einfamilien-, Zweifamilien- und verschiedenen großen Mehrfamilienhäusern differenziert.
- Die Hüllgeometrien der Gebäudegruppen sowie die energetischen Eigenschaften der Bau- und Technikkomponenten wurden anhand von Planunterlagen und Informationen,

die bei Vor-Ort-Begehungen erhoben wurden, bestimmt.

- Beim Neubau werden für jede Dekade neue Gebäudetypen modelliert. Damit kann die Einführung neuer Energiestandards und die technologische Weiterentwicklung von Bau- und Haustechnik berücksichtigt werden.

Die Bestimmung des Jahresheizwärmebedarfs im Kohortenmodell erfolgt über vollständige Energiebilanzen gem. (LEG Energiepass Heizung und Warmwasser) bzw. gem. (PHPP). Diese werden im Zeitabstand von 5 Jahren für alle 70 Gebäudetypen aufgestellt. Folgende Parameter fließen in die Berechnungen ein:

- die Außenabmessungen der Hüllflächen, die das beheizte Volumen umschließen,
- die U-Werte der opaken Hüllflächen,
- die Fenster werden orientierungsabhängig mit ihren Flächen, U_w -Werten im eingebauten Zustand und den g-Werten der Verglasung erfasst.
- Die solare Verschattung wird pauschal mit einem Faktor von 0,9 berücksichtigt. Aufgrund der geringen Verschattung der in Vorarlberg verbreitet offenen Bebauungen ist dieser hohe Wert gerechtfertigt. Für Rahmenanteil, Verschmutzung und nicht-senkrechten Strahlungseinfall wurde ein pauschaler Abminderungsfaktor von 0,54 angesetzt. Damit beträgt der Gesamtreduktionsfaktor für solare Einstrahlung 0,49.
- Die energetische Güte des Lüftungskonzeptes (inklusive Einfluss der Luftdichtigkeit) wird über den resultierenden energetisch wirksamen Luftwechsel $n_{L,eff}$ abgebildet.

Außenluftwechsel bei Fensterlüftung

In Bestandsgebäuden erfolgt der Luftwechsel über Infiltration durch Leckagen in der Gebäudehülle und durch die Fensterlüftung der Bewohner. Hierbei stellt der Fensterluftwechsel eine stark nutzerabhängige Größe dar. Messungen in bewohnten Häusern zeigen, dass der Luftwechsel eine starke jahreszeitliche Abhängigkeit hat und speziell im Kernwinter sehr ge-

ringe Werte annehmen kann. Die Fensteröffnungszeiten sinken dann auf Werte zwischen $0,03 - 0,2 \text{ h}^{-1}$ ab (Reiß/ Erhorn/ Ohl 2001). Die gemessenen Mittelwerte für Außenluftwechsel während der Heizperiode in sanierten Bestandsgebäuden liegen bei Fensterlüftung durch die Bewohner zwischen $0,18$ und $0,33 \text{ h}^{-1}$. Wurden bei der energetischen Modernisierung Lüftungsanlagen eingebaut, lagen die Luftwechselraten hingegen bei $0,48 \text{ h}^{-1}$. In allen Fällen wurden die Gebäude luftdicht ausgebildet. Der geringe Außenluftwechsel bei Fensterlüftung weist auf eine schlechte Innenluftqualität hin (Kah et al 2005).

Der rechnerische Luftwechsel über Fenster, Abluftanlage oder Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung wurde in allen Szenarien am hygienischen Bedarf orientiert mit $0,3 \text{ h}^{-1}$ angenommen. Der zusätzliche Luftwechsel durch Infiltration wurde durch einen nach Gebäudetyp und Baujahr differenzierten Zuschlag berücksichtigt, so dass sich für Gebäude ohne Wärmerückgewinnung Gesamt-Luftwechselraten zwischen $0,32$ und $0,39 \text{ h}^{-1}$ ergeben.

Für Gebäude mit Wärmerückgewinnung ergeben sich niedrigere Werte des effektiven energetisch wirksamen Luftwechsels n_L , weil hier generell von einer luftdichten Gebäudehülle ausgegangen wurde. Die Annahmen für die verschiedenen Szenarien sind in den Tabellen 4.4, 4.5 und 4.6 beschrieben.

Die angegebenen Werte bezeichnen Mittelwerte der jeweiligen strategischen Typen, hängen also neben der gewünschten Luftwechselrate von $0,3 \text{ h}^{-1}$ auch von der Luftdichtheit des Gebäudetyps und vom Anteil der Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung im jeweiligen strategischen Gebäudetyp ab.

Generell wird unterstellt, dass sich Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung nur allmählich durchsetzen, d.h. es wird angenommen, dass nicht alle Gebäude eines Gebäudetyps damit ausgestattet werden. Dieser Zubau erfolgt zudem in jedem Szenario unterschiedlich (siehe Abb. 4.8).

Nutzungs- und Klimaparameter

In der Heizwärmebilanz tauchen weitere Parameter auf, die die Nutzungsbedingungen widerspiegeln. Dazu zählen die Höhe der spezifischen internen Gewinne q_i , die Gradtagszahl G_T , die Anzahl der Heiztage, die Heizgrenztemperatur und der Reduktionsfaktor für Nachtabenkung r_{NA} . Diese Kenngrößen sind teilweise abhängig vom energetischen Standard der Gebäude. Zur Bestimmung der exakten Werte für die Berechnungen im Kohortenmodell wurde daher für die Wohnbauten eine Klassifizierung nach der energetischen Qualität vorgenommen (siehe Tab. 4.2).

Die spezifischen internen Gewinne wurden generell niedriger als in den Rechenverfahren gem. (OIB) angesetzt. Heutige realitätsnahe Werte können künftig durch geringere Belegungen und die Ausstattung der Gebäude mit stromeffizienten Geräten noch weiter abnehmen. Eine Nachtabenkung hat vor allem in schlecht oder gering gedämmten Gebäuden eine verbrauchsmindernde Wirkung. Der entsprechende Reduktionsfaktor wird mit Verbesserung der Standards immer geringer.

Über die Anpassung der Gradtagszahl wird bereits berücksichtigt, dass im unsanierten Bestand die mittleren Raumtemperaturen aufgrund von Teilbeheizung (z.B. der Schlafräume) niedriger liegen. Im Kohortenmodell wurde hier eine Anpassung in Abhängigkeit vom Leitwert der Gebäude vorgenommen (siehe Abb. 4.4). Dabei wurden aufgrund von Erfahrungswerten sowohl die Heizgrenztemperatur als auch die mittlere Innentemperatur angepasst. Probeläufe zeigen jedoch, dass selbst dann noch die berechneten Bedarfswerte im Bestand deutlich höher liegen können als die gemessenen Verbrauchswerte. Neben der Teilbeheizung der Wohnungen sind offensichtlich weitere verbrauchsmindernde Effekte, z.B. aufgrund vorhandener Möbel an den Außenwänden, Dämmtapeten und geringeren Wärmebrücken bei Holzdeckenanschlüssen u.a. vorhanden; über einen Vergleich von berechneten Bedarfswerten

Energetischer Standard	Luftwechsel mit/ohne LA* in h ⁻¹	Spez. interne Gewinne in W/m ²	Gradtagszahl in kWh/a	Heizgrenztemperatur in °C	Reduktionsfaktor Nachtabenkung
Wohngebäude:					
Unsaniertes Bestand	0,40 - 0,45	2,5 / 3,2***	63 - 70	15	0,92
Teilsaniertes Bestand	0,40 - 0,45	2,5 / 3,2***	65 - 70	12 - 14	0,92
Bestand ab 1980	0,40 - 0,45	2,5 / 3,2***	65 - 75	12 - 14	0,95
Niedrigenergie(-sanierung)	0,39 / 0,39**	1,8 / 2,3***	75 - 80	11 - 13	0,98
Passivhaus(-sanierung)	0,07 - 0,15*	1,1 / 1,5***	80 - 83	10	1,00

ten mit gemessenen Verbrauchswerten wurde in (IWU 2003a, S. 2) ein empirischer „Nutzungsfaktor“ hergeleitet. Dieser berücksichtigt andererseits bei Niedrigenergie- und Passivhäusern deren Vollbeheizung und die dort regelmäßig vorhandenen höheren mittleren Raumtemperaturen im Winter von 21 - 22 °C. Diese Randbedingungen führen in der Tendenz zu höheren Bedarfswerten als die klassische Berechnung ohne Nutzungsfaktor. Der Nutzungsfaktor variiert zwischen Werten von 0,85 (unsanierte Altbauten) und 1,1 (Passivhäuser) und wird im Kohortenmodell bei der Berechnung der Heizwärmebilanzen berücksichtigt. Er ist wie folgt definiert:

$$f_{\text{Nutzung}} = 0,5 + 2 / (3 + 0,6 h)$$

Dabei ist h der temperatur- und nutzflächenbezogene Wärmeverlust, mit:

$$h = (H_T + H_V) / A_{EB} \text{ (in W/m}^2\text{K)}$$

mit:

H_T : temperaturbezogener Transmissionswärmeverlust (in W/K)

H_V : temperaturbezogener Lüftungswärmeverlust (in W/K)

A_{EB} : Energiebezugsfläche = beheizte Wohnfläche (in m²)

Mit dem Nutzungsfaktor können die unterschiedlichen Komfortniveaus, die sich abhängig vom Dämmstandard in den Wohn-

Tab. 4.2

Zusammenstellung der gewählten Kennwerte zu den Nutzungs- und Klimarandbedingungen bei der Berechnung der Heizwärmebilanz im Kohortenmodell. Quellen: Eigene Berechnungen unter Verwendung der Daten in (IWU 2012) und (Valentin 2011, S. IV-17).

* Werte für Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

** Werte für Abluftanlagen

*** Werte für Einfamilienhäuser/ Mehrfamilienhäuser, siehe auch exakte Werte in Abb. 4.5.

- ◇- PHPP (V9) - Feldkirch
- TRY - ZAMG - Feldkirch
- ▲- IPCC A2 (2050) - Feldkirch

Abb. 4.3
Darstellung der Monatsmitteltemperaturren in verschiedenen Klimadatenansätzen. Weitere Erläuterungen und Quellen: siehe Text.

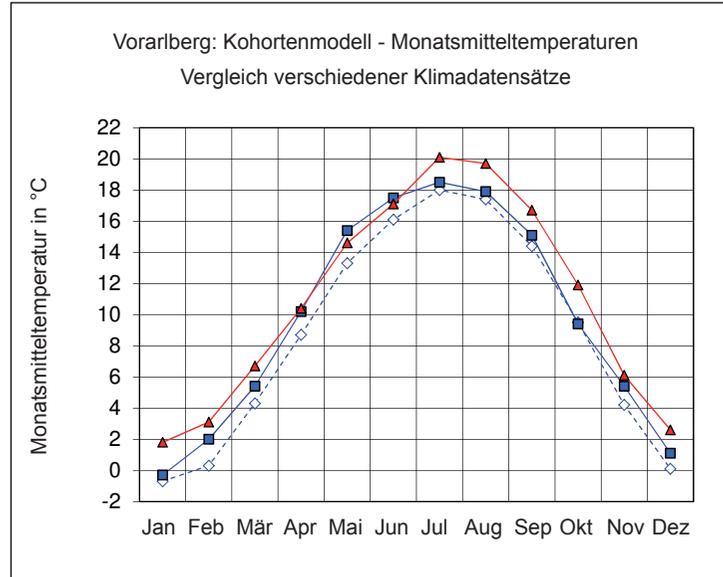
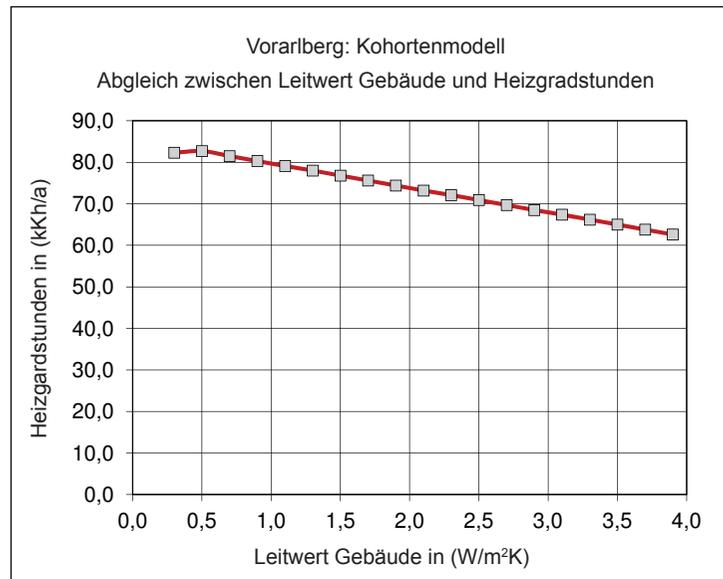


Abb. 4.4
Abgleich zwischen dem Leitwert der Gebäude und den im Kohortenmodell angesetzten Heizgradstunden. Weitere Erläuterungen: siehe Text.



gebäuden realisieren lassen, berücksichtigt werden. Bei energetischen Modernisierungen wird demnach zunächst ein Teil der Effizienzauswirkungen durch verbesserten Komfort kompensiert. Dieser sog. „Reboundeffekt“ lässt sich anhand der Verbrauchswerte im Vergleich zwischen un- und vollsanierten Gebäuden nachweisen. Andere Studien zu Verbrauchswerten großer Wohngebäudebestände kommen zu ähnlichen Ergebnissen (vgl. Schröder et al. 2012).

In den Berechnungen zum Heizwärmebedarf wurde zudem eine Anpassung an den zu erwartenden Klimawandel vorgenommen. Dieser fällt vermutlich regional unterschiedlich aus. In den bisherigen Klimabeobachtungen und bei den Auswertungen von Klimamodellen war ein Trend erkennbar, dass die langfristig zu erwartenden Temperaturerhöhungen im Alpenraum größer ausfallen als im europäischen Flachland. Im Kohortenmodell wurde eine Anpassung gemäß einem Testreferenzjahr vorgenommen, dass sich am IPCC-Szenario A2 für den Standort Feldkirch für das Jahr 2050 orientiert. Hierbei ist ein spürbarer Einfluss auf die Monatsmitteltemperaturen zu erkennen. Die Berücksichtigung des zu erwartenden Klimawandels im Kohortenmodell erfolgt über einen Anpassungsfaktor für die Heizgradstunden, der einen linearen Verlauf zwischen den Jahren 2010 und 2050 aufweist.

Für die Bestimmung der internen Wärmequellen wurde ein differenziertes Modell entwickelt, in dem einerseits die Abhängigkeit vom Strombedarf als auch von der typischen Belegung in den Wohngebäuden berücksichtigt wird. Weil die Stromeffizienz vor allem von den Randbedingungen in den Szenarien abhängen und die Belegung vor allem vom Gebäudetyp ergeben sich insgesamt sechs Verläufe für die internen Wärmequellen (siehe Abb. 4.5). Vor allem in den Effizienzszenerarien sinken diese Werte deutlich ab (bis hinunter zu Werten zwischen 0,9 - 1,8 W/m². Dies deckt sich mit Erfahrungen der Autoren in Passivhäusern, in denen bei sehr effizienter Stromausstattung und geringer Belegung die Verbrauchswerte für Raumwärme spür-

bar höher liegen, als in baugleichen Passivhäusern mit üblicher Stromeffizienz und normaler Belegung.

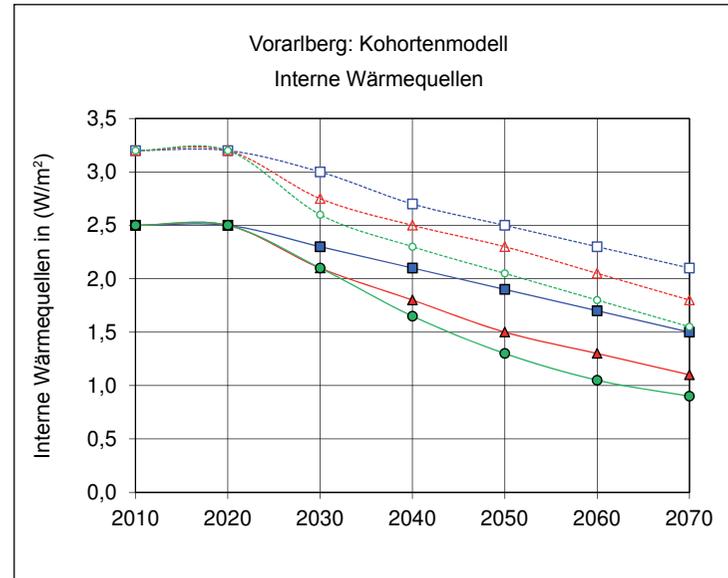
In Tab. 4.3 finden sich knappe Angaben zum solaren Strahlungsangebot auf verglaste Flächen. Als Standort hierfür wurde, wie auch für die Monatsmitteltemperaturen, Feldkirch gewählt.

Ein zwar nur in geringem Ausmaß klimaabhängiger Faktor ist der Reduktionsfaktor von normal beheizten Wohnräumen zum Erdreich bzw. zu unbeheizten Kellern. Dieser wurde pauschal mit 0,5 gewählt. Hier spielt künftig u.U. eine Rolle, dass Kellerräume zunehmend in die thermische Hülle integriert werden. Dies führt einerseits zu einer spürbaren Vergrößerung der Energiebezugsfläche (man könnte diese Räume, wie im (PHPP) vorgeschlagen mit einem Faktor von 0,6 anrechnen) und andererseits zu geringeren Wärmeverlusten der erdgeschossigen Wohnräume zu den Kellerbereichen. Dieser Punkt wurde jedoch im Kohortenmodell nicht weiter verfolgt, weil er sowohl im Ausgangszustand als auch im künftigen Verlauf nur schwer abschätzbar ist.

4.4 Szenarioabhängige Annahmen zu den energetischen Qualitäten der Baukomponenten im Kohortenmodell.

Die energetischen Qualitäten der baulichen und technischen Komponenten stellen wichtige Parameter der Energiebilanz zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs dar.

Während die energetisch-technischen Qualitäten der Komponenten aller Bestandsgebäude im Jahr 2010 (Ausgangszustand), abhängig vom Baualter, Gebäudetyp und sonstigen Eigenschaften variieren (siehe Tab. 3.1), werden für die anstehenden Sanierungsmaßnahmen und künftige Neubauten in den Szenarien festgelegte Standards bzw. Qualitäten vorgegeben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit gelten diese für alle gleichartigen Fälle. Im Betrachtungszeitraum werden die Anforderungen an die energetischen Qualitäten nach und nach erhöht, so dass sich ein dynamischer Verlauf der Anforderungsniveaus in den nächsten Dekaden ergibt. Für die Hüllflächen (Außenwände, Dächer, Decken bzw. Bodenplatten zum Keller oder Erdreich) werden pauschale mittlere U-Werte in Ansatz gebracht, die bereits alle Anschlussdetails und Wärmebrücken mitenthalten. Daher sind die genannten U-Werte nicht mit denen des ungestörten Bauteils gleichzusetzen. Bei den Fenstern wird der gesamte U_w -Wert des Fensters im eingebauten Zustand eingesetzt sowie der g-Wert der Verglasungen.



- Business-as-usual, EFH
- Business-as-usual, MFH
- ▲ Effizienz, EFH
- △ Effizienz, MFH
- Effizienz-Plus, EFH
- Effizienz-Plus, MFH

Abb. 4.5
Dynamische Entwicklung der internen Wärmequellen im Kohortenmodell. Diese sind unterschiedlich je nach Szenario und Gebäudetyp (EFH, MFH) modelliert. Weitere Erläuterungen: siehe Text.

Bei Sanierungen wird zwischen den ohne Einschränkungen sanierbaren und den bedingt sanierbaren Altbauten sowie Baudenkmalen unterschieden. Die möglichen Dämmqualitäten sind für den bedingt sanierbaren Bestand deutlich geringer angesetzt als für den voll sanierbaren (siehe Werte in Klammern in den oberen Tabellenteilen der Tabellen 4.4, 4.5 und 4.6). Das trifft insbesondere auf die Außenwände zu, die bei diesen Wohnbauten aus denkmalpflegerischen oder gestalterischen

Solarstrahlung auf Fensterflächen (Standort: Feldkirch)	
Süd:	557 kWh/(m²a)
Ost/West:	272 kWh/(m²a)
Nord:	105 kWh/(m²a)
Horizontal:	419 kWh/(m²a)

Tab. 4.3
Angebot an Solarstrahlung auf Fensterflächen während der Heizperiode für den Standort Feldkirch. Quelle: (TRY ZAMG 2012).

Business-as-usual-Szenario: energetische Qualitäten Sanierungsmaßnahmen im Bestand (Werte in Klammern: bedingt sanierbarer Bestand)					
Komponente / Jahr	2010 - 2019	2020 - 2029	2030 - 2039	2040 - 2049	ab 2050
Außenwände (U-Wert)	0,41 (0,99)	0,40 (0,965)	0,40 (0,935)	0,40 (0,91)	0,37 (0,89)
Dach (U-Wert)	0,31 (0,575)	0,30 (0,535)	0,30 (0,51)	0,29 (0,49)	0,27 (0,47)
Kellerdecke (U-Wert)	0,50 (0,69)	0,475 (0,67)	0,425 (0,65)	0,375 (0,63)	0,335 (0,61)
Fenster (U-Wert)	1,45 (1,80)	1,40 (1,55)	1,35 (1,475)	1,275 (1,425)	1,225 (1,375)
Fenster (g-Wert)	0,65 (0,66)	0,65 (0,60)	0,65 (0,575)	0,625 (0,55)	0,60 (0,55)
Lüftung (n_L - Wert)	0,38 (0,39)	0,38 (0,39)	0,38 (0,39)	0,38 (0,39)	0,38 (0,39)
Business-as-usual-Szenario: energetische Qualitäten Neubauten (Werte in Klammern: Mehrfamilienhäuser)					
Komponente / Jahr	2010 - 2019	2020 - 2029	2030 - 2039	2040 - 2049	ab 2050
Außenwände (U-Wert)	0,19 (0,19)	0,18 (0,18)	0,175 (0,175)	0,17 (0,17)	0,165 (0,165)
Dach (U-Wert)	0,16 (0,16)	0,15 (0,15)	0,15 (0,15)	0,145 (0,145)	0,14 (0,14)
Kellerdecke (U-Wert)	0,255 (0,255)	0,23 (0,23)	0,225 (0,225)	0,22 (0,22)	0,22 (0,22)
Fenster (U_w -Wert)	0,95 (0,95)	0,90 (0,90)	0,90 (0,90)	0,875 (0,875)	0,85 (0,85)
Fenster (g-Wert)	0,53 (0,53)	0,53 (0,53)	0,54 (0,54)	0,55 (0,55)	0,525 (0,525)
Lüftung (n_L - Wert)	0,36 (0,34)	0,36 (0,34)	0,36 (0,34)	0,36 (0,34)	0,36 (0,34)

Tabelle 4.4

Angaben zur energetischen Qualität der baulich-technischen Komponenten der Wohngebäude im Business-as-usual-Szenario. Im oberen Teil der Tabelle sind die Kennwerte für die Sanierungsmaßnahmen im Bestand zusammengestellt. Hierbei ist zu beachten, dass diese jeweils nur für anstehende Erneuerungsmaßnahmen gelten. Gemäß dem Kopplungsprinzip bleibt die energetische Qualität von baulich-technischen Komponenten im Modell solange unverändert erhalten, bis nach Ablauf der Nutzungsdauer eine Erneuerung ansteht. Erst dann kann eine bessere Qualität zum Zuge kommen. Im unteren Teil der Tabelle sind die Kennwerte für künftige Neubauten genannt.

Die Angaben zu den U-Werten von Aussenwänden, Dächern, Kellerdecken erfolgen in W/m^2K . Die Angabe des U-Wertes der Fenster bezieht sich auf den Gesamt- U_w -Wert des Fensters in W/m^2K im eingebauten Zustand. Die energetische Güte des Lüftungskonzeptes wird über den Kennwert des effektiven energetisch wirksamen Luftwechsels n_L in 1/h charakterisiert. Dieser entspricht dem Mittelwert aller Gebäude mit und ohne Wärmerückgewinnung.

Gründen, falls überhaupt, nur mit Innendämmungen versehen werden können. Diese kommen ohnehin nur im Effizienz-Szenario bzw. im Effizienz-Plus-Szenario zum Einsatz. Auch für die anderen Bauteile wurden geringere energetische Qualitäten angenommen, um die vorhersehbaren Restriktionen und bautechnischen Schwierigkeiten der energetischen Sanierung unter denkmalpflegerischen Auflagen abzubilden.

Im Business-as-usual-Szenario (siehe Tabelle 4.4) orientieren sich die energetischen Qualitäten für Bau- und Technikkomponenten an den heute bereits erkennbaren Entwicklungen. Das Tempo der Weiterentwicklung entspricht dem in jüngerer Zeit zu beobachtenden Tempo von Verbesserungen und den Fortschreibungen der entsprechenden Verordnungen.

Im Effizienz-Szenario (siehe Tabelle 4.5) werden hingegen ab 2020 konsequent effizientere Komponenten und Baustandards zugrundegelegt. Beispielsweise weisen alle Neubauten ab 2020 die Güte des Passivhauskonzeptes auf, ohne dass der Standard jeweils im strengen Sinne eingehalten werden muss. Das gilt speziell für die Lüftungskonzepte, bei denen hier noch längere Zeit auch Abluftanlagen möglich sind. Die energetischen Sanierungen werden im Bereich der Hülle mit Passivhauskomponenten durchgeführt. Auch die energetische Qualität der Passivhauskomponenten wird am Ende des Betrachtungszeitraums durch technologische Entwicklungen gegenüber heute weiter verbessert sein.

Im Effizienz-Plus-Szenario kommen ab 2020/30 technologische Weiterentwicklungen zum Einsatz, die sich heute noch im Erprobungsstadium befinden oder wenigstens theoretisch untersucht sind (siehe Tab. 4.6):

- Im Vergleich zum Effizienz-Szenario kommen bessere Dämmqualitäten bei allen Außenbauteilen zum Einsatz. Dabei wird davon ausgegangen, dass sowohl bei den konventionellen Dämmstoffen technologische Weiterentwicklungen stattfinden als auch für spezielle Anwendungen

verstärkt neue Dämmmaterialien (z.B. Vakuumdämm-Paneele) zur Verfügung stehen. Sollten die Energiepreise künftig wieder steigen, könnten diese Komponenten ab ca. 2020/30 durchaus wirtschaftlich interessant werden.

- Bei der konstruktiven Bewältigung typischer Wärmebrücken kommen verstärkt kostengünstige Standardprodukte zum Einsatz, die z.B. statisch hochfester Verbindungen mit einem sehr guten Wärmeschutz kombinieren.
- Die Fenster stellen auch im Passivhaus weiterhin die thermisch schwächsten Bauteile mit den größten flächenbezogenen Wärmeverlusten dar. Technologische Weiterentwicklungen (Rahmen, Rahmenbreite, Verglasungen, Glasrandverbund) sind von besonderer strategischer Bedeutung für die Weiterentwicklung des Passivhauskonzeptes. Diese Entwicklungen sind bereits in vollem Gange. Eine spezielle Rolle spielen hierbei die geometrische und thermische Optimierung des Fensterrahmens sowie der Einbausituation sowie künftig kostengünstige und leichte Vakuumverglasungen. Aus heutiger Sicht erscheinen ab 2030 Fenster-U-Gesamt-Werte im eingebauten Zustand von 0,5 W/m²K durchaus erreichbar zu sein. Die heute verfügbaren marktbesten Fenster erreichen bereits Werte um 0,60 – 0,65 W/m²K. Die Entwicklungen bei Fenstern und Verglasungen sind darüberhinaus von größter Bedeutung für ihren Einsatz im Denkmalbestand, weil hier besonders hohe Anforderungen an Gewicht, Integrationsfähigkeit in alte Fensterkonstruktionen bzw. die Rekonstruktion alter Rahmenprofile gestellt werden.
- Auch bei Lüftungsanlagen sind weitere energetische Optimierungen absehbar, die zunächst vor allem die Elektroeffizienz der Lüftungsgeräte betreffen. Diese Verbesserungen werden bei der Berechnung des Hilfsstromeinsatzes berücksichtigt. In die Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs fließt als Einflussgröße der energetisch wirksame Luftwechsel ein. Dieser wird durch den mittleren Anlagenluftwechsel, den Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung und den Infiltrationsluftwechsel bestimmt.

Effizienz-Szenario: energetische Qualitäten Sanierungsmaßnahmen im Bestand (Werte in Klammern: bedingt sanierbarer Bestand)					
Komponente / Jahr	2010 - 2019	2020 - 2029	2030 - 2039	2040 - 2049	ab 2050
Außenwände (U-Wert)	0,36 (0,925)	0,275 (0,90)	0,23 (0,80)	0,195 (0,70)	0,17 (0,60)
Dach (U-Wert)	0,28 (0,575)	0,22 (0,525)	0,19 (0,475)	0,16 (0,425)	0,14 (0,375)
Kellerdecke (U-Wert)	0,42 (0,625)	0,335 (0,525)	0,315 (0,475)	0,275 (0,425)	0,235 (0,375)
Fenster (U-Wert)	1,225 (1,75)	0,95 (1,45)	0,925 (1,35)	0,875 (1,25)	0,85 (1,15)
Fenster (g-Wert)	0,60 (0,685)	0,55 (0,625)	0,55 (0,575)	0,55 (0,55)	0,55 (0,525)
Lüftung (n _L - Wert)	0,38 (0,39)	0,38 (0,39)	0,37 (0,39)	0,36 (0,39)	0,36 (0,37)
Effizienz-Szenario: energetische Qualitäten Neubauten (Werte in Klammern: Mehrfamilienhäuser > 2 WE)					
Komponente / Jahr	2010 - 2019	2020 - 2029	2030 - 2039	2040 - 2049	ab 2050
Außenwände (U-Wert)	0,175 (0,175)	0,15 (0,15)	0,145 (0,145)	0,125 (0,125)	0,105 (0,135)
Dach (U-Wert)	0,145 (0,145)	0,115 (0,115)	0,11 (0,11)	0,105 (0,11)	0,095 (0,105)
Kellerdecke (U-Wert)	0,23 (0,23)	0,18 (0,18)	0,18 (0,18)	0,18 (0,18)	0,17 (0,17)
Fenster (U-Wert)	0,90 (0,90)	0,80 (0,80)	0,80 (0,80)	0,775 (0,775)	0,725 (0,725)
Fenster (g-Wert)	0,53 (0,53)	0,53 (0,53)	0,53 (0,53)	0,54 (0,54)	0,55 (0,55)
Lüftung (n _L - Wert)	0,36 (0,34)	0,34 (0,32)	0,32 (0,30)	0,31 (0,28)	0,29 (0,27)

Tabelle 4.5

Angaben zur energetischen Qualität der baulich-technischen Komponenten der Wohngebäude im Effizienz-Szenario. Im oberen Teil der Tabelle sind die Kennwerte für die Sanierungsmaßnahmen im Bestand zusammengestellt. Hierbei ist zu beachten, dass diese jeweils nur für anstehende Erneuerungsmaßnahmen gelten. Gemäß dem Kopplungsprinzip bleibt nämlich die energetische Qualität von baulich-technischen Komponenten im Modell solange unverändert erhalten, bis nach Ablauf der Nutzungsdauer eine Erneuerung ansteht. Erst dann kann eine bessere Qualität zum Zuge kommen. Im unteren Teil der Tabelle sind die Kennwerte für künftige Neubauten genannt.

Die Angaben zu den U-Werten von Außenwänden, Dächern, Kellerdecken erfolgen in W/m²K. Die Angabe des U-Wertes der Fenster bezieht sich auf den Gesamt-U_w-Wert des Fensters in W/m²K im eingebauten Zustand. Die energetische Güte des Lüftungskonzeptes wird über den Kennwert des effektiven energetisch wirksamen Luftwechsels n_L in 1/h charakterisiert. Dieser entspricht dem Mittelwert aller Gebäude mit und ohne Wärmerückgewinnung.

Effizienz-Plus-Szenario: energetische Qualitäten Sanierungsmaßnahmen im Bestand (Werte in Klammern: bedingt sanierbarer Bestand)					
Komponente / Jahr	2010 - 2019	2020 - 2029	2030 - 2039	2040 - 2049	ab 2050
Außenwände (U-Wert)	0,30 (0,95)	0,165 (0,825)	0,135 (0,675)	0,11 (0,525)	0,095 (0,375)
Dach (U-Wert)	0,25 (0,55)	0,15 (0,45)	0,115 (0,375)	0,105 (0,325)	0,095 (0,275)
Kellerdecke (U-Wert)	0,40 (0,55)	0,275 (0,375)	0,225 (0,325)	0,175 (0,275)	0,135 (0,225)
Fenster (U-Wert)	1,15 (1,65)	0,775 (1,20)	0,725 (1,025)	0,675 (0,953)	0,625 (0,875)
Fenster (g-Wert)	0,60 (0,685)	0,55 (0,625)	0,575 (0,60)	0,60 (0,60)	0,60 (0,57)
Lüftung (n_L - Wert)	0,38 (0,39)	0,37 (0,39)	0,36 (0,39)	0,34 (0,39)	0,32 (0,38)
Effizienz-Plus-Szenario: energetische Qualitäten Neubauten (Werte in Klammern: Mehrfamilienhäuser > 2 WE)					
Komponente / Jahr	2010 - 2019	2020 - 2029	2030 - 2039	2040 - 2049	ab 2050
Außenwände (U-Wert)	0,16 (0,16)	0,11 (0,11)	0,095 (0,105)	0,085 (0,098)	0,075 (0,09)
Dach (U-Wert)	0,14 (0,14)	0,105 (0,105)	0,095 (0,095)	0,085 (0,088)	0,075 (0,083)
Kellerdecke (U-Wert)	0,22 (0,22)	0,16 (0,16)	0,155 (0,155)	0,135 (0,14)	0,11 (0,125)
Fenster (U-Wert)	0,875 (0,875)	0,725 (0,725)	0,65 (0,65)	0,575 (0,575)	0,525 (0,525)
Fenster (g-Wert)	0,53 (0,53)	0,54 (0,54)	0,575 (0,575)	0,60 (0,60)	0,60 (0,60)
Lüftung (n_L - Wert)	0,30 (0,29)	0,28 (0,25)	0,25 (0,22)	0,22 (0,20)	0,19 (0,18)

Tabelle 4.6

Angaben zur energetischen Qualität der baulich-technischen Komponenten der Wohngebäude im Effizienz-Plus-Szenario. Im oberen Teil der Tabelle sind die Kennwerte für die Sanierungsmaßnahmen im Bestand zusammengestellt. Hierbei ist zu beachten, dass diese jeweils nur für anstehende Erneuerungsmaßnahmen gelten. Gemäß dem Kopplungsprinzip bleibt nämlich die energetische Qualität von baulich-technischen Komponenten im Modell solange unverändert erhalten, bis nach Ablauf der Nutzungsdauer eine Erneuerung ansteht. Erst dann kann eine bessere Qualität zum Zuge kommen. Im unteren Teil der Tabelle sind die Kennwerte für künftige Neubauten genannt.

Die Angaben zu den U-Werten von Außenwänden, Dächern, Kellerdecken erfolgen in W/m^2K . Die Angabe des U-Wertes der Fenster bezieht sich auf den Gesamt- U_w -Wert des Fensters in W/m^2K im eingebauten Zustand. Die energetische Güte des Lüftungskonzeptes wird über den Kennwert des effektiven energetisch wirksamen Luftwechsels n_L in $1/h$ charakterisiert. Dieser entspricht dem Mittelwert aller Gebäude mit und ohne Wärmerückgewinnung.

Verbesserungen sind bei allen der drei genannten Größen möglich. Der Anlagenluftwechsel lässt sich z.B. durch eine luftqualitätgesteuerte Volumenregelung oder eine Kaskadenlüftung reduzieren. Auch die künftig zu erwartende geringere mittlere Belegungsdichte führt in Zukunft zu kleineren mittleren Anlagenluftwechseln. Die energetische Qualität von Wärmetauscher, Gerätegehäuse und bei der Dämmung von Lüftungsleitungen kann gegenüber dem heute Üblichen deutlich verbessert werden.

- Nicht zuletzt spielt die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle energetisch und bauphysikalisch eine wichtige Rolle. Mit heute vorhandenen Dichtkonzepten und -mitteln lassen sich im Neubau bei konsequenter Anwendung gegenüber dem geforderten Passivhaus-Grenzwert von $n_{50} = 0,6 h^{-1}$ regelmäßig deutlich günstigere Drucktest-Kennwerte um $0,4 - 0,2 h^{-1}$ erzielen.

Die energetischen Kennwerte zu den Einzelkomponenten im Klimaschutz-Plus-Szenario sind in Tabelle 4.6 zusammengestellt. Die Spannweite der energetischen Qualitäten in den verschiedenen Szenarien umfasst das gesamte Spektrum der heute verfügbaren bautechnischen Komponenten und markttypischen Produkte. Spekulative Annahmen zu künftig vorstellbaren bzw. wünschenswerten Technologien wurden jedoch selbst in dem explorativen Klimaschutz-Plus-Szenario bewusst vermieden.

Nutzungsdauern und Erneuerungszyklen

Die mittlere Nutzungsdauer der baulichen und technischen Komponenten ist ein wichtiger Parameter im Kohortenmodell, denn darüber werden die Erneuerungszyklen von Bauteilen und Technikkomponenten festgelegt, die dann Auslöser für daran gekoppelte energetische Maßnahmen sind. Diese Zyklen sollten möglichst realistisch bestimmt werden. Werden die Nutzungsdauern zu kurz gewählt, werden die Möglichkeiten für eine energetische Sanierung zu optimistisch eingeschätzt. Im umgekehrten Fall ergibt sich eine zu pessimistische Einschät-

zung.

In der Literatur finden sich erheblich voneinander abweichende Angaben zur mittleren Nutzungsdauer von Bau- und Technikkomponenten. Hintergrund sind u.a. unterschiedliche Motivationen und Bewertungen. So werden die Nutzungsdauern bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen i.d.R. deutlich geringer angesetzt, als die tatsächliche Haltbarkeit der Konstruktionen beträgt. Sie orientieren sich häufig an in der Wirtschaft üblichen Abschreibungszeiträumen. Dadurch werden jedoch an sich wirtschaftlich tragfähige Lösungen „schlechtgerechnet“ und u.U. verhindert. Es existieren nur wenige empirische Untersuchungen zu Nutzungsdauern. In (Kleemann et al. 2000, S. 11) werden Renovierungszyklen von 30 - 60 Jahren genannt und eine Untersuchung von 1260 Wohneinheiten im Ruhrgebiet angeführt, für die ein mittlerer Renovationszyklus von 53 Jahren ermittelt wurde. Vollsanierungen stellen jedoch nicht den Regelfall im Sanierungsgeschehen dar. Baukomponenten werden dann ersetzt oder erneuert, wenn deren Nutzungsdauer abgelaufen ist - und das ist davon abhängig, um welches Bauteil, um welche Konstruktionsart oder welche Technikkomponente es sich handelt. Daher werden Nutzungsdauern sinnvollerweise differenziert nach Bauteil oder Komponente ausgewiesen.

In Tabelle 4.7 sind die im Kohortenmodell verwendeten Nutzungsdauern ausgewiesen. Diese wurden in Anlehnung an (Kleemann et al. 2000) im oberen Bereich der in der Literatur genannten Werte gewählt, weil die Bauteile und Komponenten tatsächlich langlebiger sind, als häufig theoretisch angenommen wird und sich daraus längere Erneuerungszyklen ergeben (s.o.). Dies ist von Bedeutung, damit die Berechnungen im Kohortenmodell nicht auf zu optimistischen Annahmen bzgl. Erneuerungsraten und Sanierungseffizienzen beruhen. Die Nutzungsdauern von tragenden Hauptkonstruktionen liegen bei 80 Jahren und mehr. Auch die sonstigen baulichen Komponenten sind mit 30 - 50 Jahren Nutzungsdauer als langlebig einzustu-

Bauteil / Komponente	Mittlere Nutzungsdauer [a]	Sanierungsrate
Baukomponenten		
Außenwände (Putz / sonstige Bekleidungen / Dämmung)	50	2,0%
Anstriche / Beschichtungen	5 - 10	10,0 - 20,0%
Dach (Steildachaufbau)	50	2,0%
Dach (Flachdachaufbau)	30	3,5%
Kellerdecke (zugänglich)	40	2,5%
Kellerdecke (Bodenaufbau)	80	1,0%
Kellerwände und Bodenplatten	80 - 120	1,0%
Fenster (Verglasung)	20	5,0%
Fenster (Rahmen)	40	2,5%
Tragkonstruktionen	80 - 120	1,0%
Mittlere Nutzungsdauer (Baukomponenten)	50 - 60	1,5 - 2,0%
Technikkomponenten		
Haustechnik - Heizsystem	20	5,0%
Haustechnik - Wärmeverteilung	50	2,0%
Lüftungstechnik (Gerät)	20 - 25	4,0 - 5,0%
Lüftungsverteilung (Kanalnetz)	50	2,0%
Elektroinstallationen	30 - 50	2,0 - 3,5%
Beleuchtung	5 - 10	10,0 - 20,0%
Haushaltsgeräte	10 - 20	5,0 - 10,0%
Unterhaltungselektronik	5-10	10,0 - 20,0%
Computer u.ä.	5-10	10,0 - 20,0%
Mittlere Nutzungsdauer (Technikkomponenten)	15 - 25	4,0 - 6,5%

Tabelle 4.7: Mittlere Nutzungsdauer und daraus abgeleitete Sanierungsrate für die energetisch relevanten Bau- und Technikkomponenten. Die Angabe erfolgt für die technische Standzeit (= tatsächliche Lebensdauer) und nicht als wirtschaftlicher Abschreibungszeitraum. Quelle: (Vallentin 2011, S. IV-19 und Ergänzungen).

Gesamt-Jahresanlagennutzungsgrade (Erzeugung, Speicherung, Verteilung)								
	Strom dir.	WP Sole	WP Luft	FW	Öl	Gas	Biomasse	Biomasse dez.
Effizienz-Szenario								
2020 Heizung	0,98	2,90	2,70	0,86	0,87	0,93	0,74	0,65
2020 Warmwasser	0,92	2,10	1,80	0,71	0,72	0,80	0,55	0,40
2050 Heizung	0,98	3,20	3,00	0,89	0,93	0,99	0,80	0,65
2050 Warmwasser	0,93	2,40	1,80	0,76	0,79	0,88	0,62	0,40
Effizienz-Plus-Szenario								
2020 Heizung	0,98	3,20	3,00	0,86	0,87	0,93	0,74	0,65
2020 Warmwasser	0,92	2,40	2,20	0,71	0,72	0,80	0,55	0,40
2050 Heizung	0,98	4,18	3,98	0,89	0,93	0,99	0,80	0,65
2050 Warmwasser	0,93	3,40	3,30	0,76	0,79	0,88	0,62	0,40

Tabelle 4.8
Entwicklung der Jahresnutzungsgrade im Effizienz- und im Effizienz-Plus-Szenario für Heizung und Warmwasser in den Jahren 2020 und 2050.

fen. Technische Anlagen wie Heizung und Lüftungsgeräte weisen mit 25 - 30 Jahren bereits deutlich kürzere Erneuerungszyklen auf. Mit 5 - 20 Jahren sind Ausstattungsgegenstände und Elektrogeräte am kurzlebigsten.

Der Erstellungszeitpunkt der Gebäudetypen bildet jeweils den Ausgangspunkt für die Erneuerungszyklen. Diese werden im Kohortenmodell in 5-Jahres-Schritten modelliert, wobei die energetischen Kennwerte der betreffenden Bauteile bzw. Technikkomponenten – je nach Sanierungstiefe und Qualität entsprechend den Vorgaben in den Szenarien – angenommen werden.

Wie in Tab. 4.7 dargestellt, lassen sich die Nutzungsdauern über ihren Kehrwert in komponentenabhängige Sanierungsraten umrechnen. Bündelt man hier Maßnahmenpakete, so ergeben sich daraus realistische Sanierungszyklen. Denn man kann pauschal annehmen, dass es nicht im Interesse der Hauseigentümer liegt, alle 5 Jahre Einzelmaßnahmen mit ihren typi-

schen Störpotenzialen auszuführen. Auffällig ist, dass die mittlere Sanierungsrate im Bereich der Technikkomponenten mit 4,0 - 6,5 % deutlich höher liegt, als im Bereich der Bauteile mit 1,5 - 2,0 %. Bei der Gebäudetechnik können somit neue Qualitäten und Konzepte deutlich schneller den Bestand durchdringen, als dies bei der Gebäudekonstruktion der Fall ist.

Definition der Bezugsfläche

Bei der Bestimmung der spezifischen Kennwerte wird nicht die über einen pauschalen Umrechnungsfaktor aus dem Bauvolumen ermittelte Nutzfläche A_N der EnEV, sondern die tatsächlich vorhandene Nutzfläche verwendet. Bei der sog. Energiebezugsfläche A_{EB} werden nur die Nutzflächen innerhalb der thermischen Hülle angerechnet, z.B. die beheizte Wohnfläche (nicht jedoch Balkone, gedeckte Terrassen, Loggien oder Abstellräume etc. außerhalb der Gebäudehülle). Die Energiebezugsfläche wurde über die Außenmaße der Gebäudetypen und die Geschosszahl ermittelt. Die so ermittelten Geschossflächen GF wurden über pauschale Umrechnungsfaktoren in die Energiebezugsfläche umgerechnet. Diese Faktoren (ausgedrückt als Verhältnis A_{EB}/GF) liegen je nach Gebäudetyp zwischen 0,70 und 0,80.

4.7 Szenarioabhängige Modellierung der energetischen Qualitäten der Technikkomponenten im Kohortenmodell

Analog zu den Bauteilen wird bei den haustechnischen Komponenten (z.B. Heizung, Warmwassererzeuger, Lüftung) verfahren. Es wurden szenarioabhängige Annahmen zur energetischen Qualität der Systeme zusammengestellt. Diese werden in einfachen Kennwerten ausgedrückt (z.B. energieäquivalenter Luftwechsel des Lüftungskonzeptes bzw. Jahresnutzungsgrad der Wärmeversorgung inkl. Erzeugung, Speicherung und Verteilung) und zeitabhängig variiert. Für die Bestimmung des nutzerabhängigen Warmwasser- und Strombedarfs wird auf die Kennwerte anderer Szenarienstudien zurückgegriffen, und

ein Abgleich mit Studien bzw. Daten, die auf Vorarlberg bezogen sind, vorgenommen. Dafür wurden insbesondere Auswertungen der Energieausweiszentrale herangezogen.

Modellierung der Wärmeversorgungssysteme

Die energetische Qualität der Wärmeversorgungssysteme (Heizung/Warmwasser) wird im Rechenmodell durch ihre Gesamt-Jahresanlagennutzungsgrade für Erzeugung, Speicherung und Verteilung abgebildet. Diese wurden anhand von Literaturwerten und Ergebnissen aus Messprojekten hergeleitet (vgl. Vallentin 2011, S. IV-34 f. und IV-42 f.), (Peper/Feist 2008), (Peper 2009) und (Miara et al. 2011). Während die Werte für brennstoffbetriebene Wärmeversorgungssysteme und direktelektrische Systeme in den einzelnen Szenarien nicht differenziert wurden, wurden die Gesamt-Jahresanlagennutzungsgrade der Wärmepumpensysteme im Effizienz-Plus-Szenario höher als im Effizienz-Szenario festgelegt, weil hier noch sehr weitgehende Technologieverbesserungen möglich sind (z.B. Direktverdampfer-Wärmepumpen).

Um die in Zukunft zu erwartenden technischen Weiterentwicklungen zu berücksichtigen, wurden die Systemeffizienzen nach Baujahren differenziert. Tabelle 4.8 zeigt exemplarisch die Werte für das Effizienz- und das Effizienz-Plus-Szenario jeweils für die Jahre 2020 und 2050. Im Jahr 2020 wurden für die Nutzungsgrade in den Effizienzszenarios (EFF und EFF-Plus) für alle Systeme außer Wärmepumpen identische Werte angenommen. Für Wärmepumpen wurden im Effizienz-Plus-Szenario hingegen um 0,3 höhere Gesamt-Jahresanlagennutzungsgrade angesetzt.

Für 2050 wurden in beiden Szenarien geringfügige Verbesserungen bei der Anlageneffizienz angenommen. Sie liegen zwischen 0,03 und 0,06. Bei den Wärmepumpen wurden für 2050 im Effizienz-Szenario und im Effizienz-Plus-Szenario jedoch deutliche Verbesserungen der mittleren Jahresnutzungsgrade gegenüber den Werten für 2020 modelliert.

Im Kohortenmodell wird der Jahresnutzungsgrad des Heizsystems unter Berücksichtigung aller Verluste des Systems, wie Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Wärmeübergabe, abgebildet. Zur Ermittlung der im Kohortenmodell verwendeten Werte für die Erzeuger-Effizienzen von Wärmepumpen wurden auf die Ergebnisse des Projekts „Wärmepumpeneffizienz“ des Fraunhofer Instituts für solare Energiesysteme zurückgegriffen. In diesem Projekt wurden die Effizienzen von 56 Sole-Wärmepumpen und 18 Luft-Wärmepumpen in einem Feldtest untersucht (Miara et al. 2011). In Abbildung 4.6 sind die Mittelwerte der gemessenen Jahresarbeitszahlen für je verschiedene gewählte Bilanzgrenzen aufgezeigt.

Die mittleren Jahresarbeitszahlen der messtechnisch untersuchten Erdreich-Wärmepumpen lagen in den drei vermessenen Jahren zwischen 4,19 und 3,75. Bei den Außenluft-Wärmepumpen liegen diese Werte mit 3,17 bis 2,74 deutlich niedriger. Nur der jeweils niedrigste Wert bildet alle Verluste des Wärmepumpensystems im engeren Sinne ab. Es fehlen je-

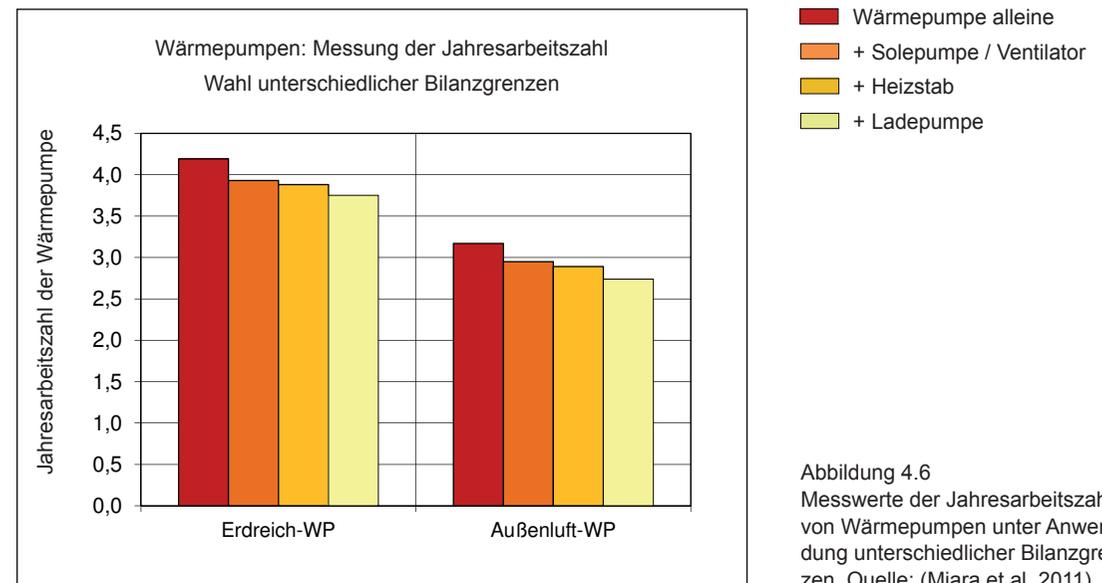


Abbildung 4.6
Messwerte der Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen unter Anwendung unterschiedlicher Bilanzgrenzen. Quelle: (Miara et al. 2011).

Tabelle 4.9
Ermittlung der Jahresnutzungsgraden für typische Erdreich-Sole- und für Außenluft-Wärmepumpen. Berücksichtigt sind alle Verluste des Systems. Weitere Erläuterungen: siehe Text.

Abschätzung des Gesamt-Jahresnutzungsgrades (eta-Jahr) von Luft- und Sole-Wärmepumpen								
	Nutzwärme	Speicher- und Verteilverluste	Wärmebedarf	Wärmebedarf (Heiz + WW)	Typ WP	AZ WP	Endenergie	eta (Jahr)
Heizung	20 kWh/(m ² a)	5 kWh/(m ² a)	25 kWh/(m ² a)	48 kWh/(m ² a)	Sole	3,88	12,4 kWh/(m ² a)	2,82
Warmwasser	15 kWh/(m ² a)	8 kWh/(m ² a)	23 kWh/(m ² a)					
Heizung	20 kWh/(m ² a)	5 kWh/(m ² a)	25 kWh/(m ² a)	48 kWh/(m ² a)	Luft	2,89	16,6 kWh/(m ² a)	1,80
Warmwasser	15 kWh/(m ² a)	8 kWh/(m ² a)	23 kWh/(m ² a)					

doch dann immer noch die Speicher- und Verteil- sowie Übergabeverluste, um den Jahresnutzungsgrad zu bestimmen. Obwohl die im Feldtest des ISE bestimmten Messdaten bereits 7-10 Jahre alt sind, können sie auch heute noch als repräsentativ für die mittlere Erzeugereffizienz von Wärmepumpensystemen gelten, weil hier gegenläufige Effekte zwischen Verbesserung der Arbeitszahl und dem Wärmebedarf des Gebäudes auftreten.

Die Wärmeverluste energetisch hochwertig sanierter Gebäude wurden in zwei Messprojekten des Passivhaus-Instituts Darmstadt untersucht [Peper/Feist 2008], [Peper 2009]. In beiden Fällen treten Verluste für Wärmespeicherung und -verteilung zwischen 5 bis 10 kWh/(m²a) für Heizung und Warmwasser auf. Auf dieser Grundlage können nun die im Feldtest des Fraunhofer-ISE bestimmten Arbeitszahlen und die in den Messprojekten des Passivhaus-Instituts bestimmten Speicher- und Verteilverluste zu dem Jahresnutzungsgrad für Erdreich-(Sole)- und Außenluft-Wärmepumpen zusammengeführt werden (siehe Tab. 4.9).

Treten in einem energetisch hochwertigen Gebäude die in den Messungen des PHI ermittelten Speicher- und Verteilverluste auf, und liegt die Effizienz der Erzeuger Sole-WP und Erdreich-WP im Bereich des Mittelwertes aus den Feldtests des ISE, so resultiert für die Erdreich-Sole-Wärmepumpe ein Jahresnutzungsgrad von 2,82 und für die Außenluft-Wärmepum-

pe ein Wert von 1,8. Diese vergleichsweise niedrigen Werte stimmen gut mit den Jahresnutzungsgraden in (Vallentin 2011, S. IV-34 f. und 42 f.) überein, die im Kohortenmodell verwendet werden..

Modellierung des Warmwasser-Nutzenergiebedarfs in den Szenarien

Bei den Warmwasseranwendungen sind gegenläufige Tendenzen vorhanden, die einerseits verbrauchserhöhend sind (z.B. steigende Komfortansprüche, hygienische Anforderungen) und andererseits verbrauchsmindernd sind (z.B. wassersparende Armaturen, Duschwasser-Wärmerückgewinnung).

Für den Nutzenergiebedarf der Warmwasseranwendungen in den privaten Haushalten wurden die Angaben aus (Vallentin 2011, S. IV-44) übernommen und an die verfügbaren Verbrauchsdaten von Projekten in Vorarlberg angepasst, welche deutlich unter den o.g. Kennwerten liegen. Entsprechend wurden die szenarioabhängigen Entwicklungen nach unten korrigiert. Die so ermittelten Werte sind in Abb. 4.7 dargestellt.

Modellierung des Strombedarfs in den Szenarien

Die Stromanwendungen in den Gebäuden stellen ein wichtiges Handlungsfeld für die Effizienz und Klimaschutzstrategien dar. Während im Effizienz-Szenario die Gebäude ab 2020 konsequent mit besonders stromeffizienten Haushaltsgeräten, Beleuchtung und Arbeitsmitteln usw. ausgestattet werden, findet

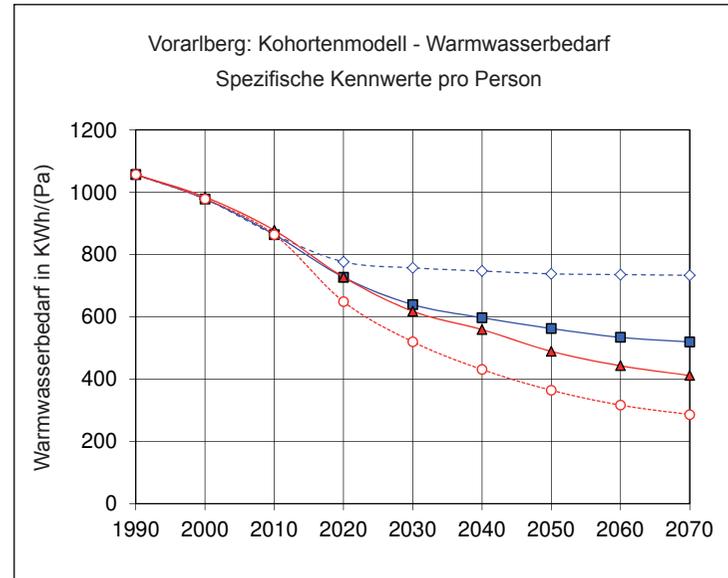
im Business-as-usual-Szenario nur eine zurückhaltende Verbesserung der Stomeffizienz statt. Weil jedoch dort gleichzeitig eine bedeutende Ausweitung der Stromanwendungen stattfindet, werden die gerätebezogenen Effizienzverbesserungen teilweise bzw. weitgehend aufgezehrt (sog. Rebound-Effekt).

Im Effizienz-Plus-Szenario werden ab 2020/30 nochmals verbesserte Geräte und Technologien zum Standard. Dies betrifft das gesamte Feld der Elektrogeräte, Beleuchtung, Kommunikationselektronik und Allgemeinstromanwendungen (z.B. TG-Beleuchtung, Aufzüge) in und an den Wohngebäuden. Eine genauere Darstellung zum Thema findet sich in (Consiste 2008) und (Vallentin 2011, S. IV-52 ff.). In beiden Studien wird eine Halbierung des Haushaltsstrombedarfs bis 2030-2040 für machbar eingestuft, weil dies bereits heute mit den effizientesten Ausstattungen umsetzbar ist.

Für den Strombedarf der privaten Haushalte existieren Verbrauchsdaten zu Vorarlberg aus den Jahren 1990 - 2014, allerdings ohne Differenzierung zwischen Haushaltsstrom, Hilfsstrom und Strom für Wärmeerzeugung (vgl. Consiste 2008, S. 16) und (Energiebericht 2014). Diese Werte liegen im Gegensatz zu den Warmwasseranwendungen höher als die entsprechenden Vergleichswerte in Deutschland. Von diesen Werten wurde der Anteil für Hilfsstrom und Strom zur Wärmeerzeugung abgezogen und daraus der Ausgangswert für 2010 in Höhe von 1276 kWh/(Pa) bestimmt. Danach wurden die Kennwerte aus (Vallentin 2011, S. IV-59) entsprechend angehoben und weiterentwickelt. Die Ist-Entwicklung und die szenarioabhängigen Kennwerte für die Berechnungen im Kohortenmodell sind in Abb. 4.8 zusammengestellt.

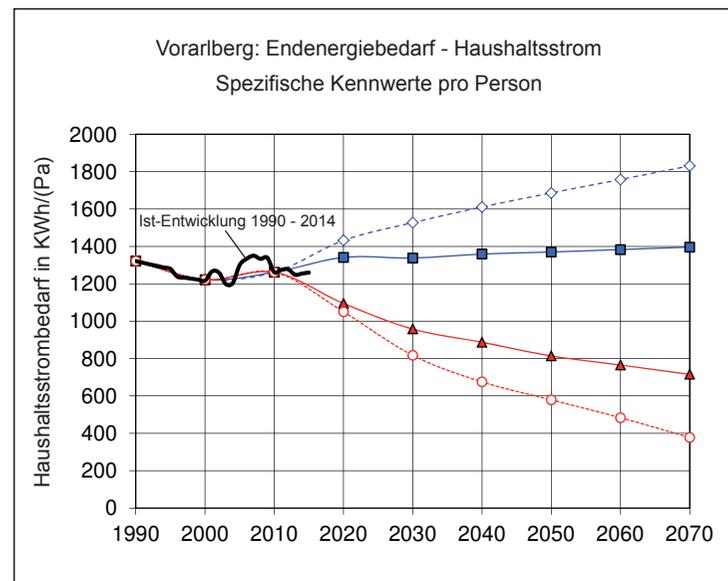
Modellierung der Lüftungs- und Solaranlagen

Die Anteile der Wohnflächen, die über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung verfügen, weisen deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien auf. Abb. 4.9 zeigt zudem, dass nach der ersten erfolgreichen Umsetzungsphase bis etwa



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 4.7
Szenarioabhängige Modellierung des Nutzenergiebedarfs pro Person für alle Warmwasseranwendungen in den Haushalten. Angabe der Werte in kWh/(Pa).

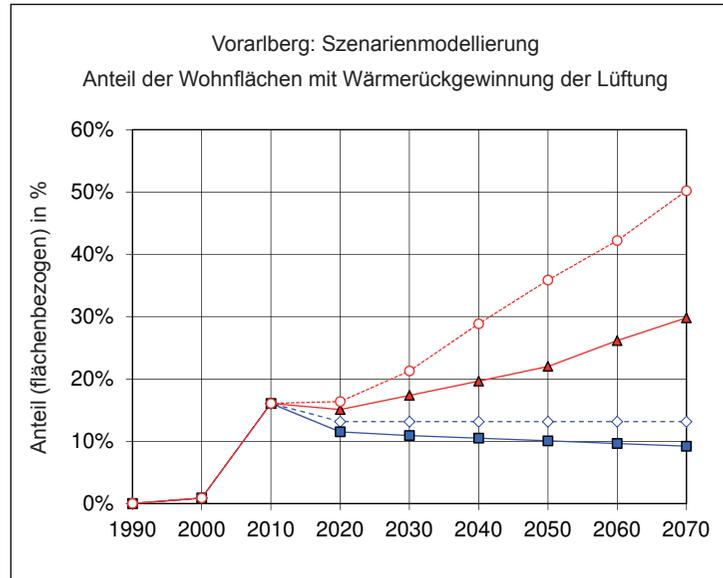


- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus
- — - IST - Entwicklung

Abbildung 4.8
Szenarioabhängige Modellierung des Endenergiebedarfs pro Person für den Haushaltsstrom. Angabe der Werte in kWh/(Pa).

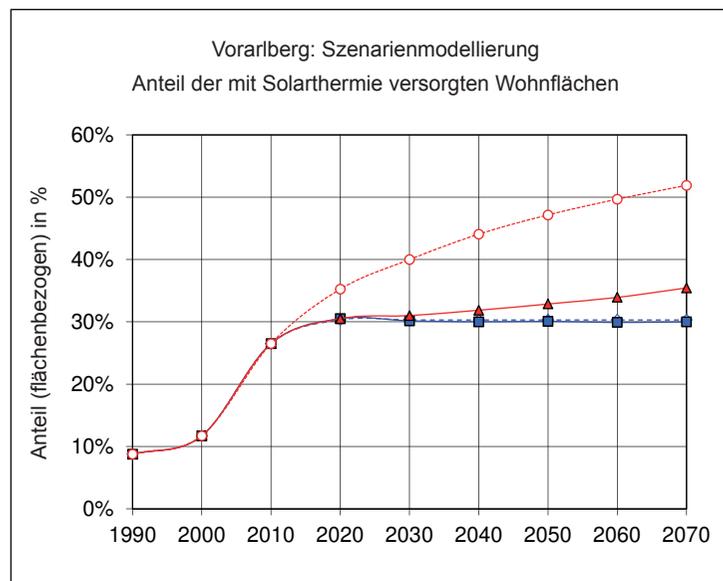
- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 4.9
Anteile der Wohnflächen, die eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung aufweisen, wie sie in den vier Hauptszenarien modelliert wurden.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 4.10
Anteile der mit Solarthermie versorgten Wohnflächen, wie sie in den vier Hauptszenarien modelliert wurden.



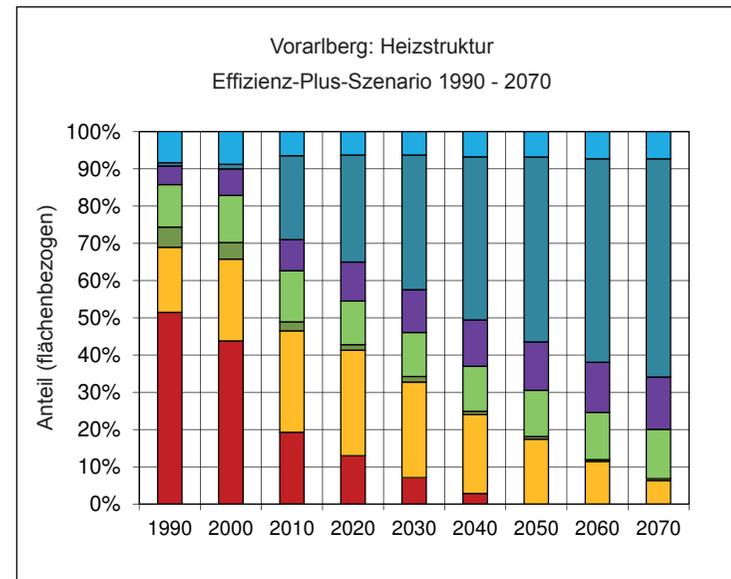
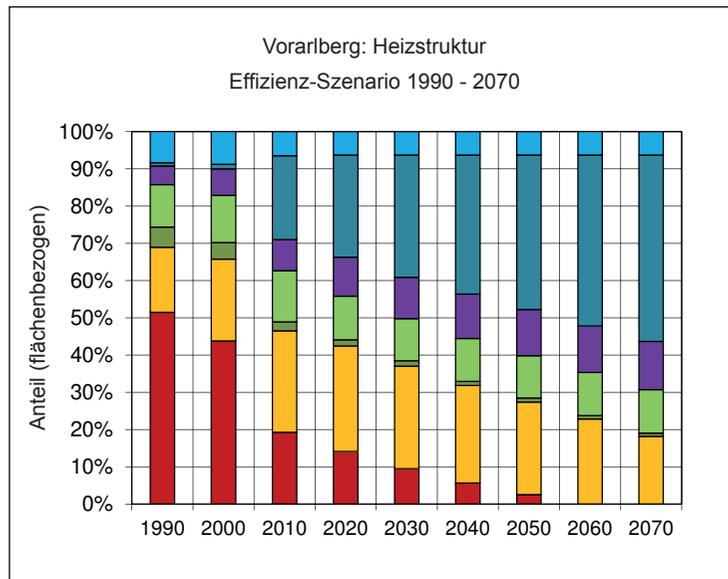
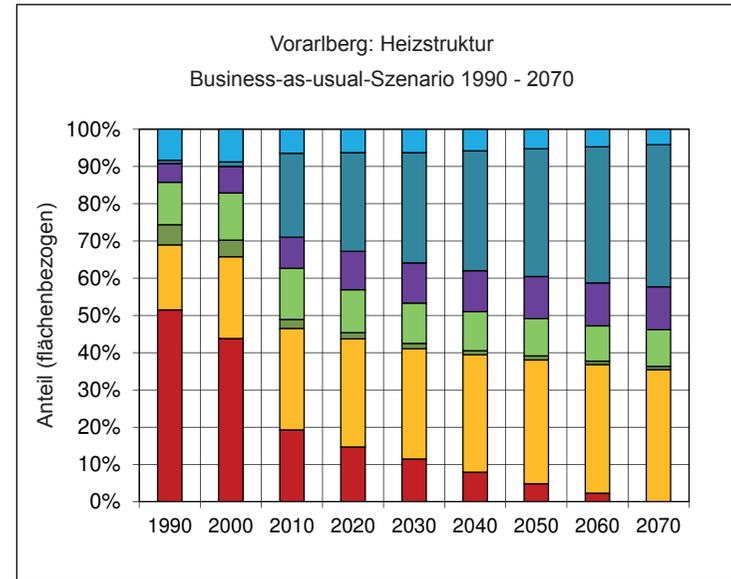
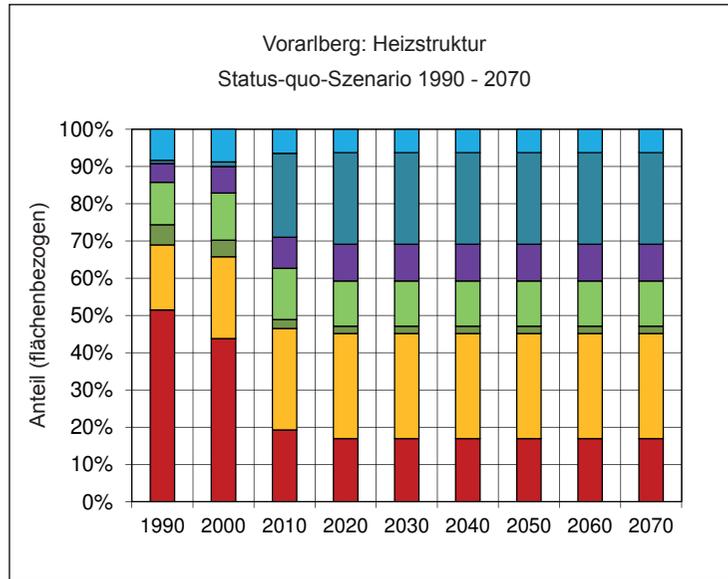
2010 eine Stagnation eingetreten ist, die in allen Szenarien dazu führt, dass die Steigerungsraten im nächsten Jahrzehnt deutlich zurückgehen oder sogar negativ ausfallen. Während in den Effizienzsznarien nach 2020/2030 dann wieder deutlich mehr Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz kommen, stagniert deren Anteil im Business-as-usual-Szenario auch danach. Insgesamt werden die Umsetzungsperspektiven für die Wärmerückgewinnung von Lüftungsanlagen in allen Szenarien aus umsetzungsstrategischen Gründen eher zurückhaltend beurteilt (**Anm. 1**).

Bei den thermischen Solaranlagen erfolgt in allen Szenarien nach der ersten erfolgreichen Ausbauphase in den Jahren 2000 - 2010/2015 eine spürbare Abschwächung der Wachstumsdynamik (siehe Abb. 4.10). Dies auch, weil sich die Photovoltaik gegenüber der Solarthermie zunehmend als Konkurrenztechnologie etabliert. Nur im Effizienz-Plus-Szenario steigen mit Solarthermie versorgten Wohnflächen auch nach 2020 weiter an, jedoch mit geringeren Wachstumsraten als bisher.

Szenarioabhängige Modellierung der Heizstruktur

Auch die Anteile der Versorgungssysteme und der Energieträger der Wärmeversorgung werden in jedem Szenario individuell festgelegt und unterliegen zudem Veränderungen über die Zeit. Zusätzlich findet eine Differenzierung zwischen den fünf Gebäudekategorien (Neubau EFH und MFH, Sanierung EFH und MFH sowie bedingt sanierbarer Bestand) statt. Für den Ausgangszustand der Heizstruktur wurden die vorhandenen Angaben der Energieausweiszentrale zu den Versorgungssystemen der Wohngebäude aus den Jahren 2005 - 2015 herangezogen.

In Abb. 4.11 wird deutlich sichtbar, welche ausgeprägte Dynamik bereits in der jüngsten Vergangenheit wirksam war. Auffällig ist hierbei vor allem der Rückgang der Ölheizungen und der gleichzeitige Anstieg der mit Wärmepumpen versorgten Wohngebäude. Die Szenarien unterscheiden sich vor allem darin, in



- Strom-direkt
- Strom - Wärmepumpen
- Fern-/Nahwärme
- Biomasse, zentral
- Biomasse, dezentral
- Erdgas
- Heizöl

Abbildung 4.11
Darstellung der Heizstruktur des Wohngebäudeparks in Vorarlberg 1990 - 2070, wie sie in den vier Hauptszenarien modelliert wurde. Die Anteile beziehen sich auf die versorgte Wohnfläche des jeweiligen Heizsystems.

welchem Tempo die fossilen Heizsystemen aus dem Bestand verschwinden. Hiervon hängt u.a. der Erfolg der Klimaschutzstrategien ab. Eine besondere Rolle hierbei spielt hierbei der Ausstieg aus den Ölheizungen, die in den Szenarien unabhängig von der Gebäudekategorie modelliert wird. Dabei wird von einer Lebensdauer der Kessel von 25 Jahren ausgegangen. Der Ölausstieg ist damit in allen Szenarien mit langen Übergangsfristen modelliert:

- Im Status-quo-Szenario werden die Anteile aller Energieträger in allen Gebäudekategorien auf dem Stand von 2010 eingefroren, d.h. die bestehenden Wärmeerzeuger werden am Ende ihrer technischen Lebensdauer durch gleichartige Erzeuger mit demselben Energieträger ersetzt.
- Im Business-as-usual-Szenario (BAU) wird ab 2045 ein gezielter Ausstieg aus der Heizölnutzung angenommen (d.h. ein Verbot für Ölkessel im Neubau und bei Kesselerersatz im Bestand), der dann bis zum Jahr 2070 vollzogen ist.
- Für das Effizienz-Szenario erfolgt dieser Schritt bereits im Jahr im Jahr 2035. Damit wird dann ab 2060 kein Heizöl mehr verfeuert.
- Im Effizienz-Plus-Szenario wird der Ausstieg nochmals 10 Jahre früher, d.h. im Jahr 2025 begonnen. Bei der angenommenen technischen Lebensdauer von 25 Jahren der Ölkessel wird in diesem Szenario 2050 Heizöl durch andere Energieträger ersetzt sein.

Die genannten Ausstiegsdaten beschreiben nicht alleine eine technische Entwicklung, sondern auch Maßnahmen die aufgrund der politischen und gesellschaftlichen Randbedingungen getroffen werden. Dass derartige Maßnahmen nicht unwahrscheinlich sind, zeigt u.a. der Beschluss Dänemarks, ab 2013 keinen Ölkessel in Neubau und ab 2016 in der Sanierung mehr zuzulassen (vgl. Wikipedia 2017). In Österreich wird Niederösterreich als erstes Bundesland ab 2019 ein Verbot von Ölkesseln in Neubauten umsetzen (vgl. Regionalmedien Austria 2017). Der Ölausstieg im Bestand wird durch die anderen

Energieträger aufgefangen. Je nach Szenario bedeutet dies einen unterschiedlich starken Anstieg des Anteils von Gasheizungen. Im Business-as-usual-Szenario hat diese zur Folge, dass im Jahr 2050 immer noch ca. 50 % der Wohnflächen fossil versorgt werden. Ein Ausstieg kommt hingegen nur im Effizienz-Plus-Szenario in greifbare Nähe.

Diesem Phänomen könnte nur mit sehr starken Steigerungen anderer Versorgungslösungen auf der Basis von Biomasse, Fernwärme und Wärmepumpe entgegengewirkt werden. Im Neubau und in der Sanierung wird die Wärmepumpe weiterhin zunehmend modelliert bis eine Sättigung erreicht wird. Die Biomasse wird je nach Szenario in etwa auf heutigem Niveau modelliert.

Fern- und Nahwärme wird tendenziell in allen Szenarien ausgebaut, vor allem bei den Mehrfamilienhäusern und hier verstärkt bei der Sanierung im Bestand. Folgende Trends sind für den möglichen Ausbau zugrunde gelegt:

- Fern- und Nahwärmeversorgungen in ländlichen Regionen mit geringer Wärmedichte geraten wegen der geringen Abnahme immer mehr unter wirtschaftlichen Druck, weil der spezifische Wärmebedarf der Einzelgebäude sinkt und die Potenziale für Nachverdichtungen gering sind.
- In den Verdichtungsräumen sind die spezifischen Wärmedichten höher und die Potentiale für den Ausbau der Versorgungsgebiete viel eher gegeben. Daher kann hier viel einfacher eine dauerhafte ökonomische Tragfähigkeit dieser Versorgungen gewährleistet werden.

Elektrische Direktsysteme werden unter der Annahme, dass vor allem bei Bestandssanierungen weiterhin dezentrale elektrische Warmwasserbereitung eingesetzt wird, als nahezu konstant angenommen. Dies auch vor dem Hintergrund der niedrigeren Primärenergie- und CO₂-Faktoren für Strom und der im Vergleich zu zentralen Warmwasserbereitungssysteme viel geringeren Speicher- und Verteilverluste.

Detaillierte Betrachtung der Veränderung der Heizstruktur im Effizienz-Szenario

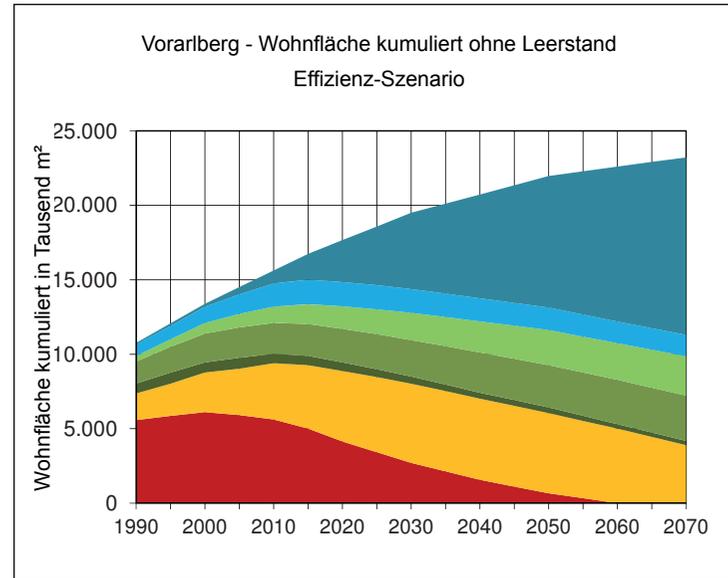
Im Folgenden soll die dynamische Veränderung der Heizstruktur und ihre energetischen Folgen im Effizienz-Szenario näher beleuchtet werden.

In Abb. 4.12 sind die Anteile der verschiedenen Energieträger bezogen auf die jeweils versorgten Wohnflächen dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass einerseits die Wohnflächen stark ansteigen und sich zugleich die Heizstruktur beträchtlich ändert. Beide Entwicklungen sind im Kohortenmodell zu berücksichtigen, um daraus den Wärmebedarf des Wohngebäudeparks bestimmen zu können.

Im Kohortenmodell wurde die Entwicklung der Heizstruktur zudem differenziert zwischen Neubau und Bestandssanierungen entwickelt, wobei zusätzlich zwischen Einfamilienhäusern (bis 2 Wohneinheiten) und Mehrfamilienhäusern (drei und mehr Wohneinheiten) unterschieden wurde. Die prozentuale Verteilung der Energieträger auf die jeweiligen Wohnflächen für das Effizienz-Szenario ist in Abb. 4.14 zusammengestellt.

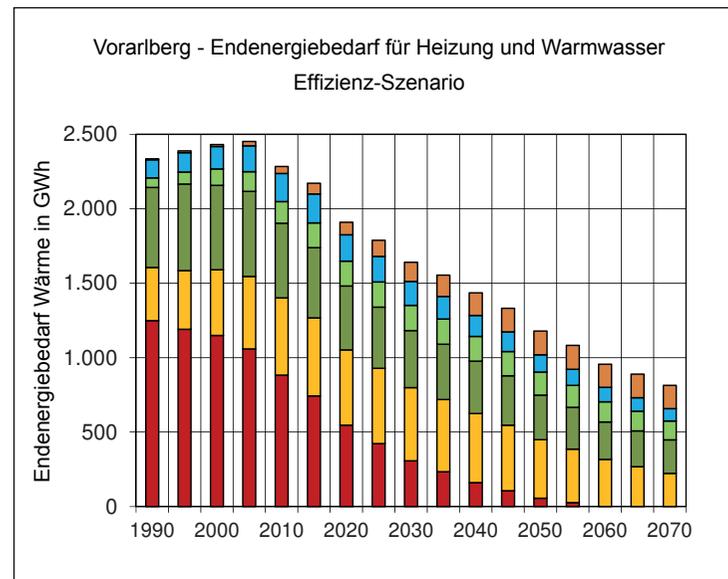
Der Endenergiebedarf Wärme kann nun mit diesen Informationen in Verknüpfung mit den Jahresnutzungsgraden der verschiedenen Wärmeerzeuger (siehe Tab. 4.8) bestimmt werden.

Wie sich dies in der zeitlichen Entwicklung für die verschiedenen Energieträger auswirkt ist in Abb. 4.13 aufgetragen. Der im Effizienz-Szenario mit Heizöl abgedeckte Wärmebedarf geht stark zurück, bis im Jahr 2060 der Ausstieg vollzogen ist. Der Einsatz von Erdgas nimmt bis 2020 noch zu, um dann allmählich zu sinken. Trotz der steigenden Wohnflächen nimmt aufgrund der stetigen Effizienzverbesserungen der Gebäude der Endenergiebedarf für Strom, Fernwärme und Biomasse nicht im Übermaß zu, so dass sich in der Summe ein insgesamt sinkender Endenergiebedarf für Wärme ergibt (siehe auch Abb. 6.4.c, S. 84).



- Strom - Wärmepumpen
- Strom - direkt
- Heizöl
- Fern- / Nahwärme
- Erdgas
- Biomasse - zentral
- Biomasse - dezentral

Abb. 4.12
Entwicklung der Struktur der Wärmeversorgung der Wohngebäude Vorarlbergs gemäß den versorgten Wohnflächen im Effizienz-Szenario.



- Strom - Wärmepumpen
- Strom - direkt
- Heizöl
- Fern- / Nahwärme
- Erdgas
- Biomasse - zentral

Abb. 4.13
Endenergiebedarf der Wohngebäude Vorarlbergs für Wärme getrennt nach Energieträgern im Effizienz-Szenario.

- Strom - Wärmepumpen
- Strom - direkt
- Heizöl
- Fern- / Nahwärme
- Erdgas
- Biomasse - zentral
- Biomasse - dezentral
- Solar
- Lüftung mit WRG

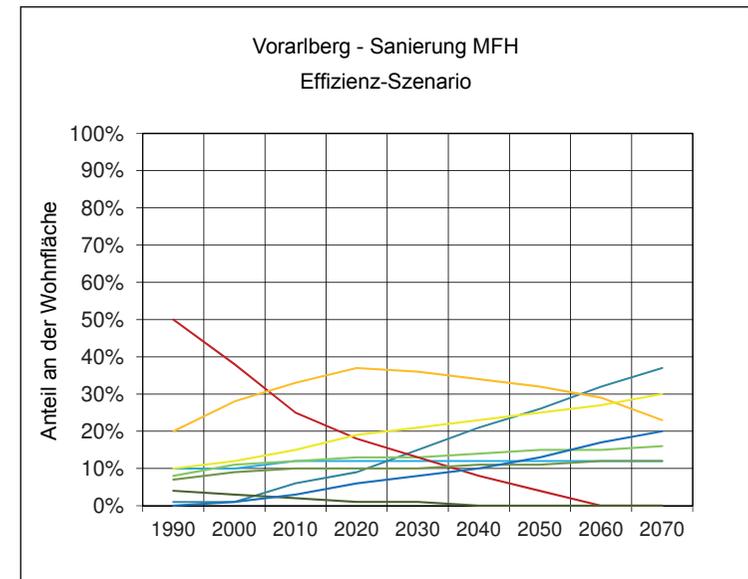
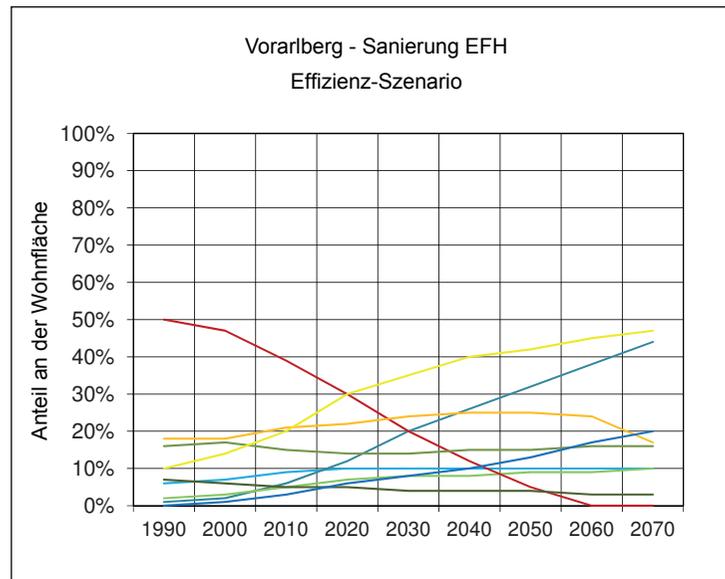
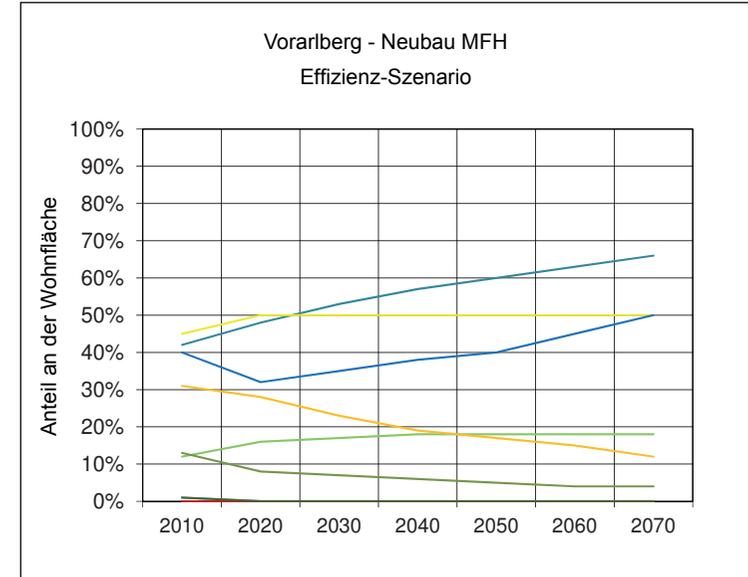
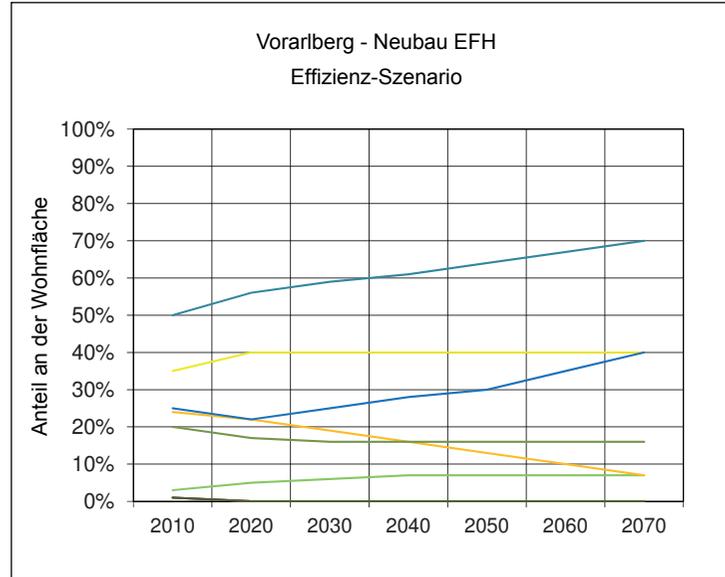


Abbildung 4.14
 Entwicklung der Heizstruktur der Wohngebäude Vorarlbergs im Zeitraum 2010 - 2070 im Effizienz-Szenario. Darstellung der Ergebnisse für vier Gebäudekategorien.

- Oben links: Neubau Einfamilienhäuser ab 2010
- Oben rechts: Neubau Mehrfamilienhäuser ab 2010
- Unten links: Bestand Einfamilienhäuser
- Unten rechts: Bestand Mehrfamilienhäuser

Szenarioabhängige Modellierung der Stromerzeugung

Die Modellierung der Stromerzeugung erfolgt in den Szenarien nicht für Vorarlberg sondern für ganz Österreich, weil nur hierzu belastbare Untersuchungen existieren. Verwendet wurde die „Szenarien für Strom- und Fernwärmeaufbringung und Stromnachfrage im Hinblick auf die Klimaziele 2030 und 2050“ (AEA 2015). Die dort modellierten Szenarien „WEM“, „WAM“ und „WAM +“ wurden im Hinblick auf deren Erzeugungsstruktur ausgewertet (Abb. 4.11) und anschließend mit den umfangreichen und detailliert erhobenen Konversionsfaktoren einer aktuellen schweizerischen Untersuchung (Stolz/Frischknecht 2017) kombiniert. Schließlich konnten so auch die Konversionsfaktoren für die gesamte Primärenergie und die Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) je Endenergieeinheit Netzstrom (Abb. 4.15) bzw. Fernwärme (Abb. 4.15). bestimmt werden.

Modellierung der Photovoltaikerzeugung

Einen Sonderfall, der separat vom sonstigen Kohortenmodell betrachtet wurde, stellt die Photovoltaikerzeugung auf Wohngebäuden dar. Einerseits ist die Solarstromerzeugung bereits im Stromerzeugungsmodell enthalten und dort als Netzstrom abgebildet. Andererseits ergeben sich durch die Eigennutzung in Wohngebäuden Synergieeffekte, die künftig von strategischem Interesse sein können. Sie wurden im Kohortenmodell deshalb nicht mit abgebildet, weil sie von einer ganzen Reihe von Annahmen abhängen, die nicht mit hinreichender Genauigkeit modelliert werden konnten bzw. die außerhalb des Bilanzrahmens der Studie liegen. Dazu zählen:

- In welchem Umfang kommen bei Gebäuden mit PV-Anlagen stromgestützte Wärmeversorgungen (Wärmepumpen, Direktsysteme) zum Einsatz?
- Soll die PV-Anlage zusammen mit anderen erneuerbaren Energiesystemen (z.B. BHKW, Kleinwindanlage, thermische Solaranlage, Holzheizung) eingesetzt werden?
- Wird in Verbindung mit der PV-Anlage ein Speichersystem installiert (evt. auch zu einem späteren Zeitpunkt)?

	obere Abschätzung	mittlere Abschätzung	untere Abschätzung
Süd	160	120	80
Ost / West	120	90	60
Horizontal	120	90	60

- Soll die PV-Anlage auch für Elektromobilität mit genutzt werden?
- Können mehrere PV-Anlagen im Sinne von Arealnetzen zusammengeschlossen werden, z.B. um eine höhere Eigennutzung zu erzielen?

Bei der Abschätzung der Potenziale wurde der bisherige Ausbau zugrundegelegt. Im Jahr 2015 konnten etwa 2% der Gesamtstrombedarfes durch PV-Erzeugung gedeckt werden. Die künftigen Ausbaupfade lehnen sich an die bisherigen Zubauraten, die jedoch etappenweise recht unterschiedlich ausgefallen sind, an. Ein von den Autoren als realistisch umsetzbar eingeschätzter Pfad orientiert sich an der Zielmarke der Energieautonomie im Jahr 2050 von 210 GWh/a. Dieser Wert wird hier aber alleine auf den Dächern der Wohngebäude realisiert, d.h. es sind darüber hinaus weitere Potenziale auf den Fassaden der Wohngebäude, an Nichtwohngebäuden und durch Freilandaufstellungen erzielbar. Weitere Ausbaupfade orientieren sich an geringeren bzw. stärkeren Zubauraten ausgesuchten Jahre zwischen 2005 und 2014 (siehe Abb. 6.12).

Ausgehend von den maximal nutzbaren Dachflächen (siehe Abb. 6.10) werden aufgrund der pauschal angesetzten Jahreserträge je Quadratmeter Modulfläche in Form einer oberen, mittleren und unteren Abschätzung ermittelt. Dadurch soll die Vielfalt der Einzelfälle mit ihren spezifischen Einschränkungen (z.B. zu Statik, Verschattung, Dachgeometrie, Dachein- und aufbauten) abgebildet werden (Tab. 4.8). Die Ertragswerte sind dort zudem orientierungsabhängig differenziert.

Tab. 4.10
Abschätzung der mittleren Erträge für die Potenzialabschätzung der Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen auf den Dächern der Wohngebäude (siehe auch Abb. 6.11 - 6.17). Angabe der Werte in kWh/m²a.

- Importstrom
- Sonstige
- Fotovoltaik
- Windkraft
- Wasserkraft
- Biomasse / Müll
- Erdgas
- Mineralöl
- Kohle

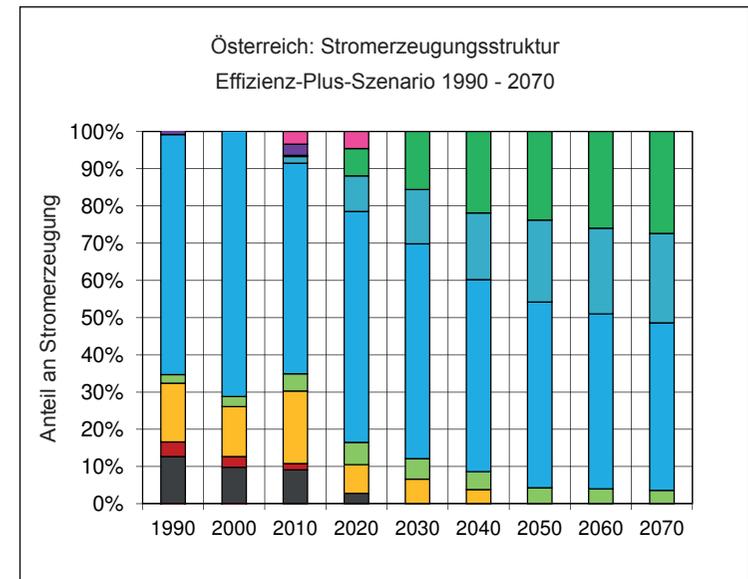
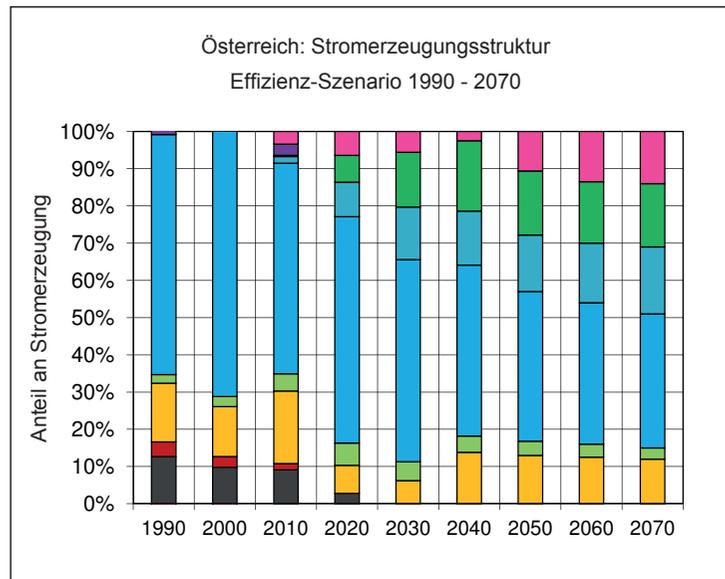
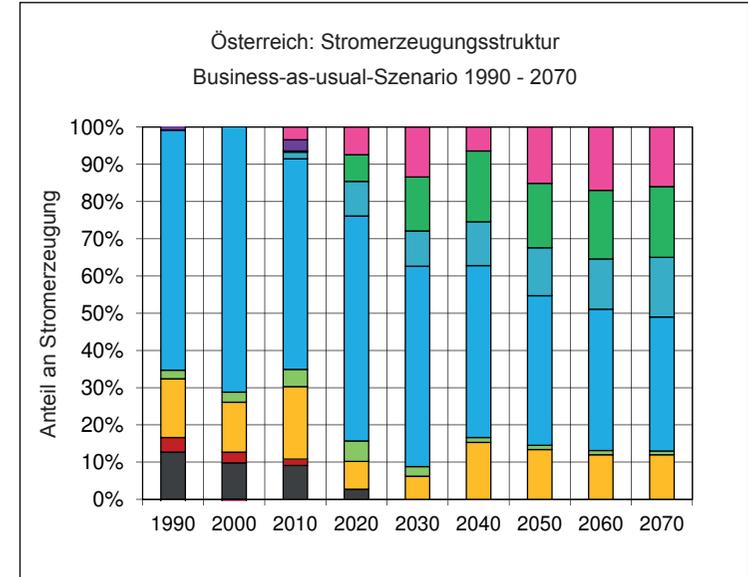
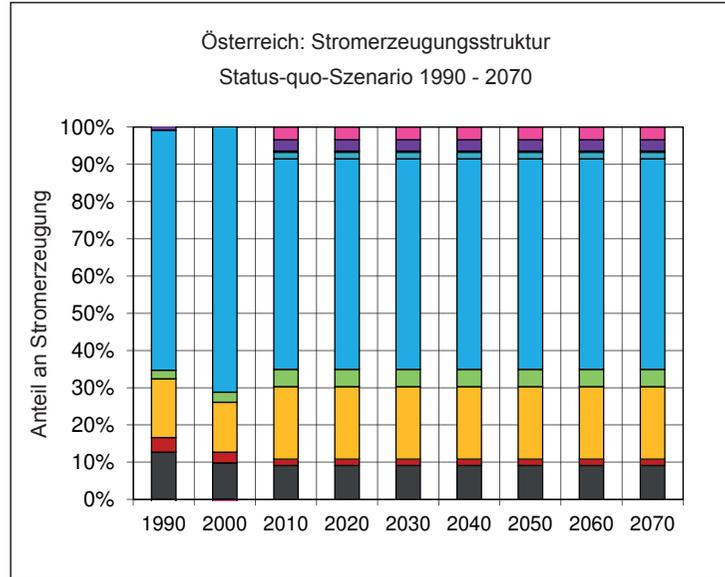
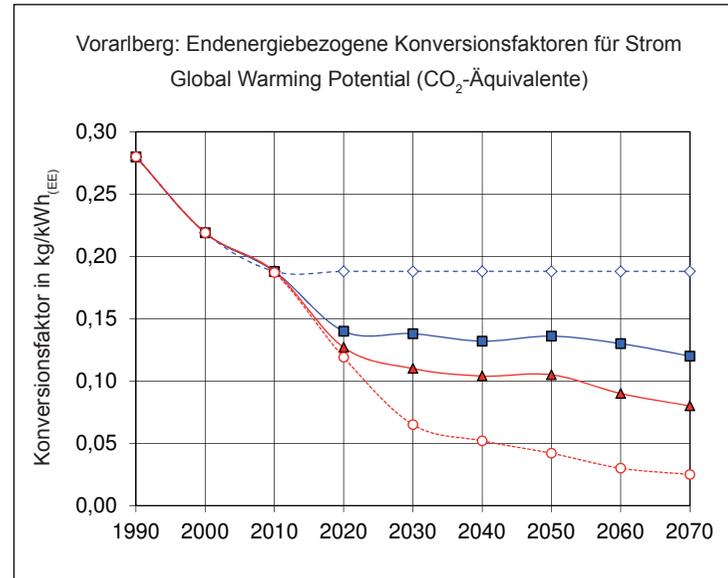
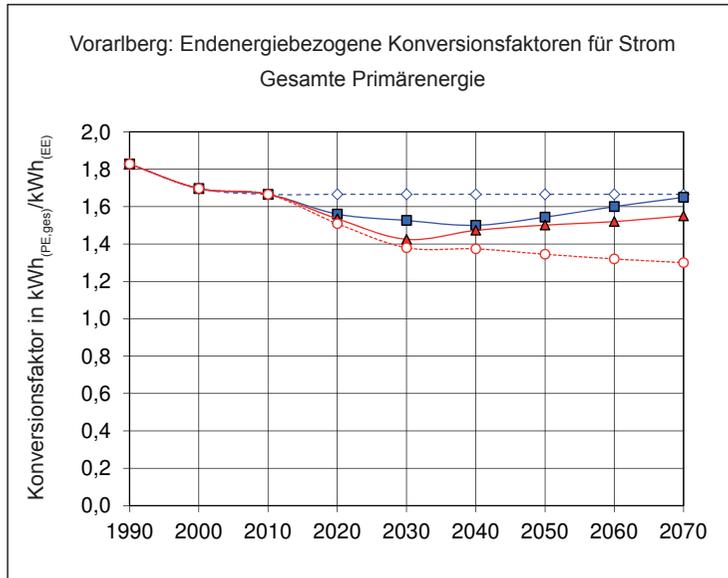
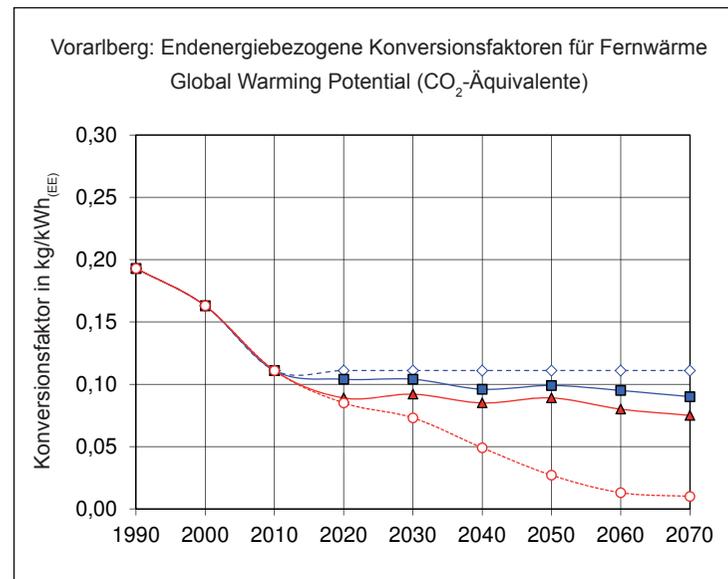
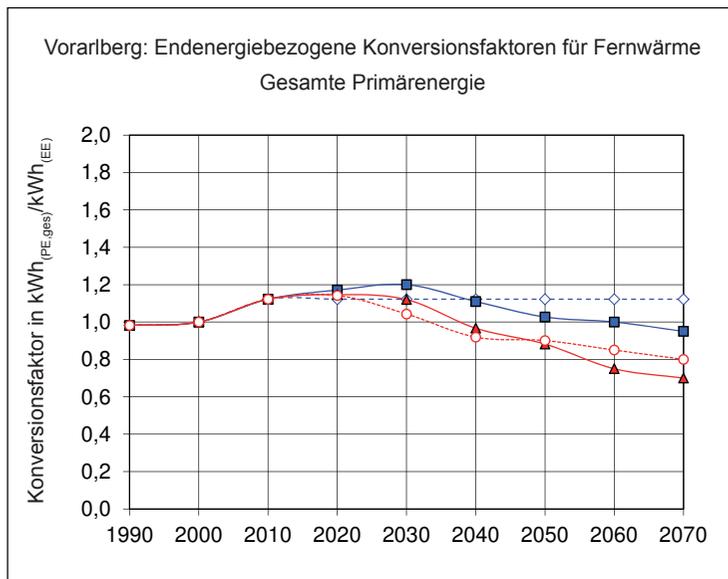


Abbildung 4.15
 Struktur der Stromerzeugung Österreichs im Zeitraum 1990 - 2070, wie sie den vier Hauptszenarien zugrundegelegt wurde. Die Anteile verstehen sich als Strombezug der Haushalte frei Steckdose. Die Entwicklung bis 2010 wurde gemäß den Angaben des „Energiestatus Österreich 2015“ des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (bmwf 2015, S. 127ff.) zusammengestellt. Die weitere Entwicklung bis 2050 folgt gemäß den Szenarien der Austrian Energy Agency für Strom- und Fernwärmenachfrage im Hinblick auf die Klimziele 2030 und 2050 (AEA 2015). Das AEA-Szenario „WEM“ liegt dem Business-as-usual-Szenario zugrunde. Für das Effizienz-Szenario wurde das AEA-Szenario „WAM“ herangezogen. Für das Effizienz-Plus-Szenario wurde schließlich das AEA-Szenario „WAM+“ verwendet.
 Weitere Erläuterungen: siehe Text.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 4.16
Entwicklung der endenergiebezogenen Konversionsfaktoren für Netzstrom, basierend auf der Stromerzeugungsstruktur der o.g. AEA-Szenarien (AEA 2015) und den Primärenergie- und CO₂-Äquivalent-Faktoren einer aktuellen und detailliert erhobenen schweizerischen Untersuchung (Stolz/Frischknecht 2017, S. 5).

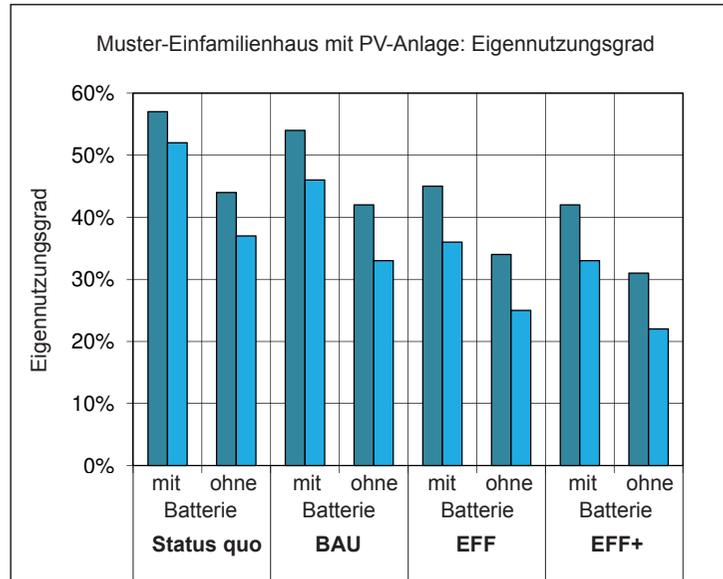


- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 4.17
Entwicklung der endenergiebezogenen Konversionsfaktoren für Fernwärme, basierend auf der Fernwärmeerzeugungsstruktur der AEA-Szenarien (AEA 2015) und den Primärenergie- und CO₂-Äquivalent-Faktoren einer aktuellen und detailliert erhobenen schweizerischen Untersuchung (Stolz/Frischknecht 2017, S. 5).

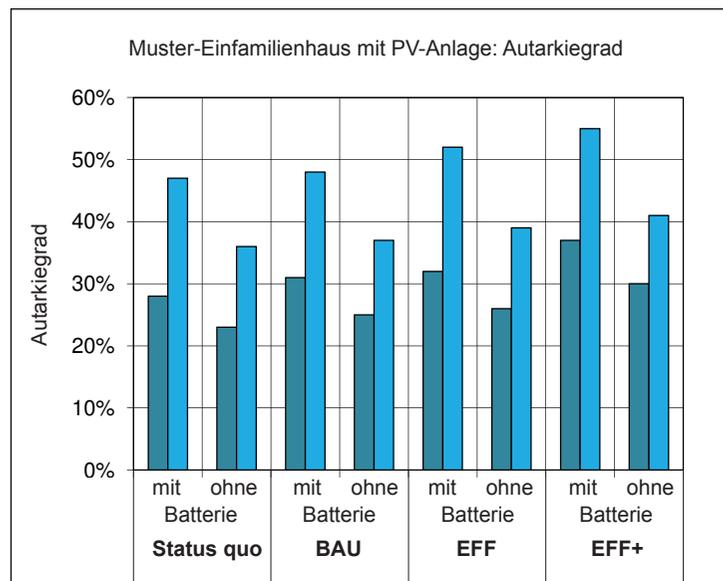
mit Wärmepumpe
ohne Wärmepumpe

Abb. 4.18
Eigennutzungsgrad der PV-Erzeugung eines Modell-Einfamilienhauses unter verschiedenen Randbedingungen. Die südorientierte Dachfläche ist vollständig mit PV-Modulen belegt. Der Dämmstandard und das Lüftungskonzept werden szenarioabhängig variiert (siehe Werte in Tab. 4.4 - 4.6 für das Jahr 2020). Zudem ergeben sich weitere Varianten durch das Vorhandensein einer Wärmepumpenheizung bzw. einer Batterie.



mit Wärmepumpe
ohne Wärmepumpe

Abb. 4.19
Autarkiegrad der PV-Erzeugung eines Modell-Einfamilienhauses unter verschiedenen Randbedingungen. Die südorientierte Dachfläche ist vollständig mit PV-Modulen belegt. Der Dämmstandard und das Lüftungskonzept werden szenarioabhängig variiert (siehe Werte in Tab. 4.4 - 4.6 für das Jahr 2020). Zudem ergeben sich weitere Varianten durch das Vorhandensein einer Wärmepumpenheizung bzw. einer Batterie.



Für ein Modell-Einfamilienhaus wurden darüber hinaus mit dem vom Energieinstitut entwickelten Tool „SUSI“ (EIV 2017a) der Eigennutzungsgrad (Abb. 4.18) sowie der Autarkiegrad (Abb. 4.19) der Stromanwendungen für verschiedene Varianten (mit/ohne Wärmepumpenheizung; mit/ohne Batterie) ermittelt.

- Der Eigennutzungsgrad gibt an, welcher Anteil des PV-Stroms während eines Standardjahres im Gebäude genutzt werden kann. Der Rest wird i.d.R. in das Stromnetz eingespeist.
- Der Autarkiegrad gibt hingegen an, in welchem Ausmaß die eigene PV-Erzeugung beiträgt, den gesamten Stromverbrauch zu decken. Die Ergebnisse variieren je nach den gewählten Randbedingungen, wobei sich naturgemäß Gegenläufigkeiten zwischen den beiden Kenngrößen ergeben.

Das Vorhandensein eines Stromspeichers (Batterie) wirkt sich sowohl für den Eigennutzungs- als auch den Autarkiegrad positiv aus.

Wird das Gebäude mit Strom beheizt (Wärmepumpe) steigert dies den Eigennutzungsgrad, gleichzeitig sinkt aufgrund des zusätzlichen Strombedarfs der Autarkiegrad.

Mit steigender Stromeffizienz (Status quo – Business-as usual – Effizienz – Effizienz-Plus) geht der Eigennutzungsgrad zurück, während der Autarkiegrad gleichzeitig immer höher wird.

Aus dieser vergleichenden Betrachtung wird deutlich, dass pauschale Aussagen zum künftigen Eigennutzungsgrad der PV-Anlagen in Vorarlberg schwierig kalkulierbar sind. Die Zusammenhänge sind noch schwieriger einschätzbar, wenn man zusätzlich den künftigen Ausbau der Elektromobilität (Ladestationen auf Stellplätzen, Garagen und Tiefgaragen) mit einbeziehen möchte.



5 Entwicklung Heizwärmebedarf 2010 - 2070

Auf der Basis des zuvor dokumentierten Kohortenmodells können nun die Ergebnisse zum Wärmebedarf des Wohngebäudeparks in Vorarlberg differenziert nach strategischen Gruppen ausgewertet werden. Zunächst wird hier nur der Nutzwärmebedarf für Raumheizung betrachtet. Im nächsten Abschnitt werden dann auch die Heizsysteme miteinbezogen und der Endenergiebedarf für Raumwärme bestimmt. Für den spezifischen Heizwärmebedarf werden die Nutzflächen in Form der Energiebezugsfläche A_{EB} (hier definiert als die beheizte Wohnfläche) als Bezugsgröße verwendet. Der mittlere Heizwärme-Kennwert ist eine Schlüsselgröße für die erreichte Energieeffizienz der privaten Haushalte beim Heizbedarf, indem er die energetische Qualität des Wohngebäudeparks zum jeweiligen Zeitpunkt kennzeichnet.

Der Jahresheizwärmebedarf wird für jeden der 70 Gebäudetypen in 5-Jahres-Schritten in Form einer vollständigen Heizwärmebilanz bestimmt. Dabei wird bei jedem Zeitschritt geprüft, ob und welche Erneuerungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen anstehen und in welcher energetischen Qualität diese, gemäß den Vorgaben des jeweiligen Szenarios, auszuführen sind. Die Angaben zu den Hausgruppen und den Randbedingungen der energetischen Berechnungen sind in Abschnitt 4 erläutert.

Im Hinblick auf den spezifischen Jahresheizwärmebedarf findet in allen Szenarien ein in etwa lineares Absinken der Werte statt, wenn auch mit unterschiedlicher Steigung (siehe Abb. 5.1). Dafür verantwortlich sind einerseits die Effizienzverbesserungen bei allen Gebäudekomponenten sowie den Lüftungskonzepten, die gleichermaßen Neubauten und energetische Modernisierungen im Bestand betreffen, andererseits haben auch die umfassenden Neubauaktivitäten einen Einfluss auf den spezifischen Jahresheizwärmebedarf, weil die Kenn-

werte im Neubau deutlich unter denen im Bestand liegen. Der Neubau hat nicht alleine die Aufgabe, den steigenden Bedarf nach Wohnflächen zu decken, sondern dient auch als Ersatz für die Wohnungen und Wohnhäuser, die allmählich aus dem Bestand verschwinden, weil sie abgerissen oder anderweitig genutzt werden.

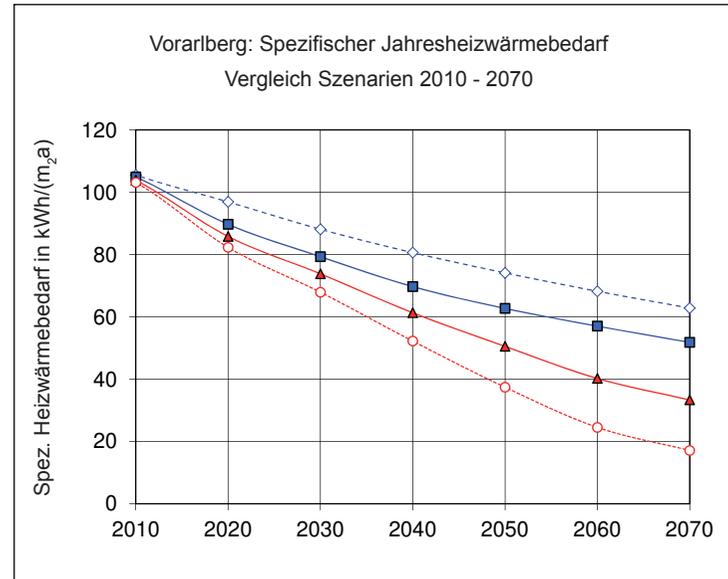
Die Entwicklung startet 1990 mit einem Ausgangswert von 124 kWh/m²a und geht 2010 auf 105 kWh/m²a zurück. Im Business-as-usual-Szenario lassen sich die mittleren Heizwärmebedarfe bis 2050 auf 63 kWh/m²a verringern. Im Effizienz-Szenario sinken sie auf etwa 50 kWh/m²a und im Effizienz-Plus-Szenario liegen sie mit nur 37 kWh/m²a nochmals deutlich tiefer. Die genannten Zahlen verstehen sich immer als Mittelwerte des gesamten Wohngebäudeparks.

Betrachtet man hingegen den gesamten Jahresheizwärmebedarf, so zeigt sich ein anderes Bild (siehe Abb. 5.2). Hier überlagern sich zwei Effekte, nämlich der deutliche Zuwachs an Wohnflächen über den gesamten Betrachtungszeitraum und die gleichzeitig sinkenden spezifischen Kennwerte je Nutzfläche. Im Status-quo-Szenario steigen die Bedarfswerte von 1440 GWh/a im Jahr 1990 bis 2030 auf etwa 1750 GWh/a an und verbleiben auch danach auf hohem Niveau. Im Business-as-usual-Szenario wird ebenfalls keine durchgreifende Minderung erzielt. Im Jahr 2050 liegt der Bedarf immer noch bei knapp 1500 GWh/a. Erst unter den Randbedingungen der Effizienz-Szenarien ergeben sich mittel- und langfristig spürbare Reduktionen. Der Heizwärmebedarf im Jahr 2030 beträgt im Effizienz-Szenario 1480 GWh/a und kann bis 2050 auf ca. 1180 GWh/a reduziert werden, was etwa 70 % des Bedarfs im Jahr 2010 entspricht. Im Effizienz-Plus-Szenario wird mit 1350 GWh/a im Jahr 2030 bzw. 860 GWh/a im Jahr 2050 nochmals

deutlich weniger Heizwärme benötigt. Der Bedarf von 2050 entspricht in etwa einer Halbierung des Ausgangswertes von 2010. Die hier aufgezeigten Entwicklungen setzen sich auch nach dem Jahr 2050 in ähnlichem Tempo weiter fort.

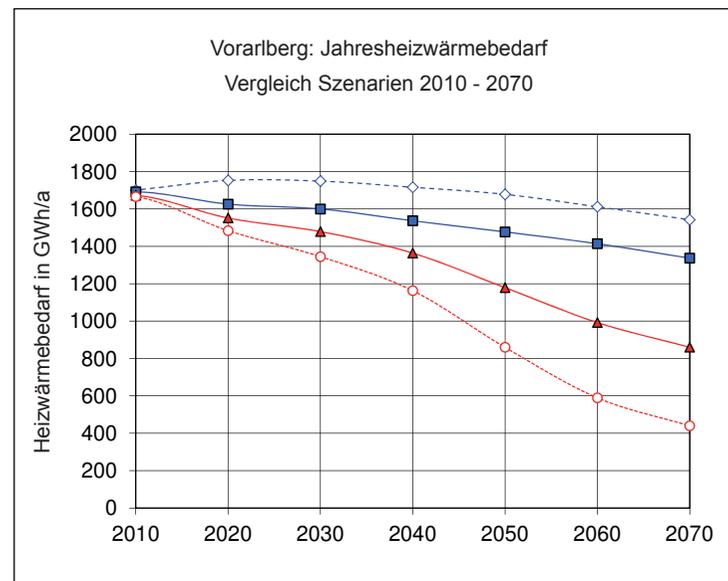
Eine differenzierte Analyse gemäß strategischen Typen (siehe Abb. 5.3.a+b sowie 5.4.a+b) zeigt auf, dass die größten Reduktionspotentiale im voll sanierbaren Bestand liegen. Die Bedarfswerte dieser zwei Gruppen betragen ausgehend vom Jahr 2010 mit 1416 TWh/a (100%) dann im Jahr 2050 im Business-as-usual-Szenario 970,9 TWh/a (68,6%), im Effizienz-Szenario 758,7 TWh/a (53,6 %) und im Effizienz-Plus-Szenario 559,8 TWh/a (39,5%). Hingegen können im bedingt sanierbaren Bestand aufgrund der hohen Eingriffsempfindlichkeit bei Baudenkmalen und gestalterisch sensiblen Gebäuden nur geringe Effizienzverbesserungen erzielt werden. Der Neubau seit 2010 spielt ebenfalls eine Rolle für den Gesamterfolg. Im Business-as-usual Szenario entfallen im Jahr 2050 ca. 311 TWh/a auf die Neubauaktivitäten seit 2010 während dieser Wert im Effizienz-Szenario ca. 239 TWh/a und im Effizienz-Plus-Szenario sogar nur ca. 134 TWh/a beträgt. Weil der Neubau im Grunde den „Bestand von morgen“ darstellt ist er ebenfalls von strategischer Bedeutung für den Gesamterfolg.

Die Auswertung des spezifischen jährlichen Heizwärmebedarfs nach strategischen Typen (Abb. 5.5 a+b sowie 5.6 a+b) zeigt auf, dass die spezifischen Bedarfswerte der Baudenkmale sowie des sonstigen bedingt sanierbaren Bestandes immer deutlich über denen der beiden anderen Gruppen liegen. Der Neubau nach 2010 wiederum weist durchgehend günstigere Heizwärme-Kennwerte auf, als der umfassend sanierbare Bestand, weil der Altbau nur Schritt für Schritt erneuert werden kann und viele Anschlüsse aufweist, die nicht wärmebrückenfrei ausgeführt werden können sowie weitere Umsetzungshindernisse (z.B. nachbarrechtliche Probleme, Platzbedarf) bestehen. Auch die Integration der haustechnischen Anlagen ist im Bestand bedeutend schwieriger als im Neubau.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 5.1
Entwicklung des spezifischen Jahresheizwärmebedarfs in kWh/m²a in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 2010 - 2070.

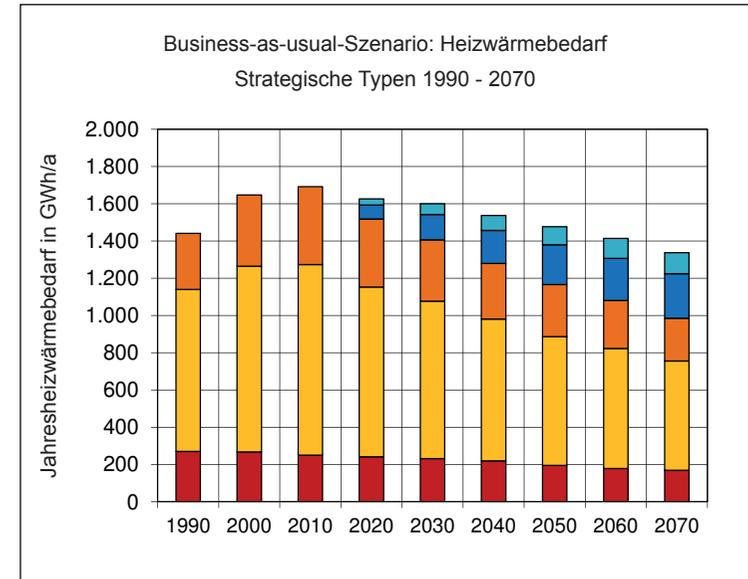
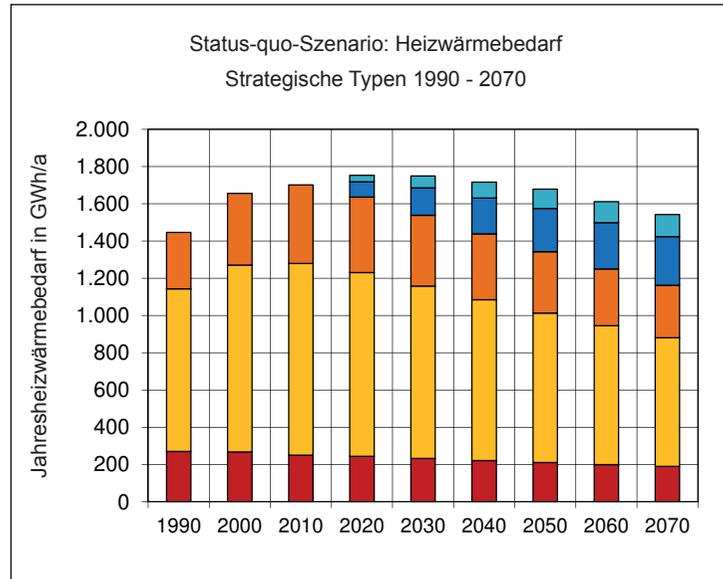


- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 5.2
Entwicklung des Jahresheizwärmebedarfs in GWh/a in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 2010 - 2070.

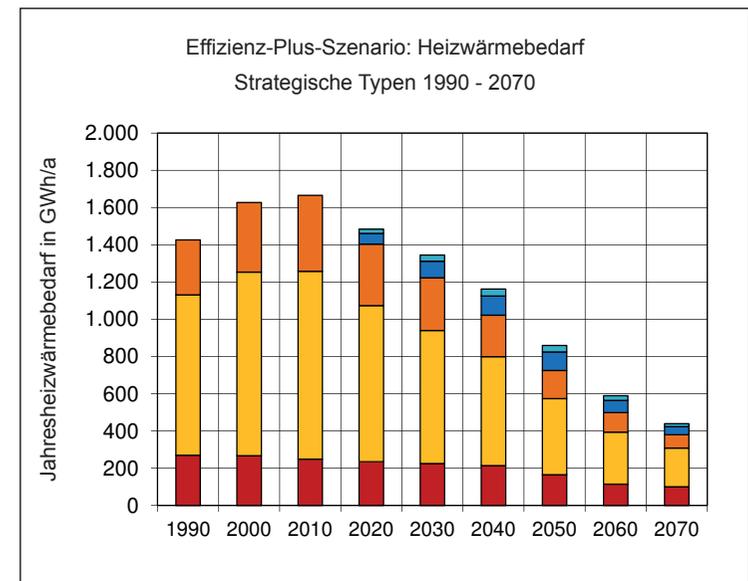
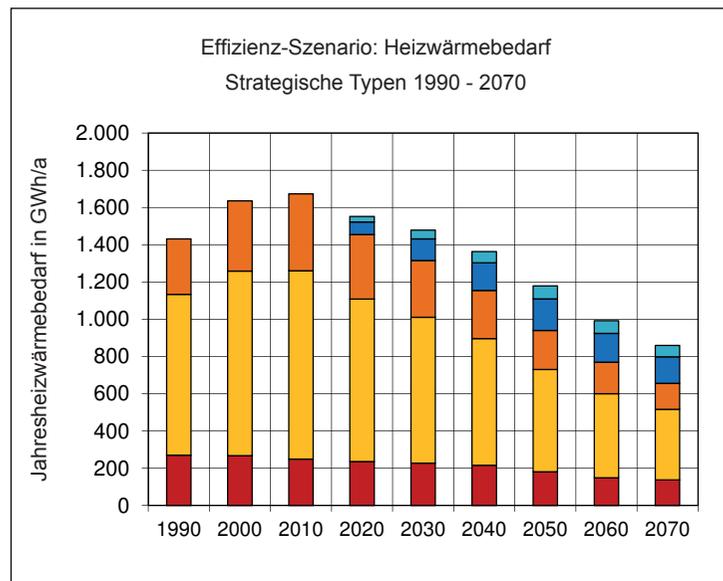
- Neubau MFH ab 2010
- Neubau EFH ab 2010
- Bestand MFH
- Bestand EFH
- Bedingt sanierbarer Bestand

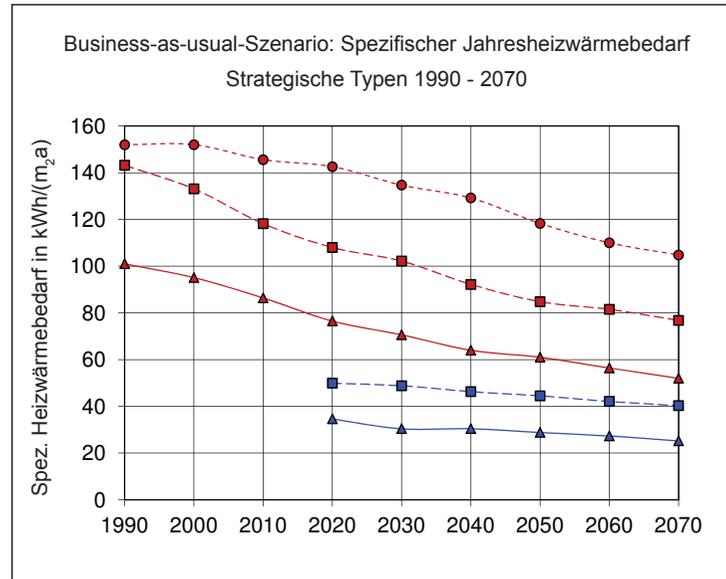
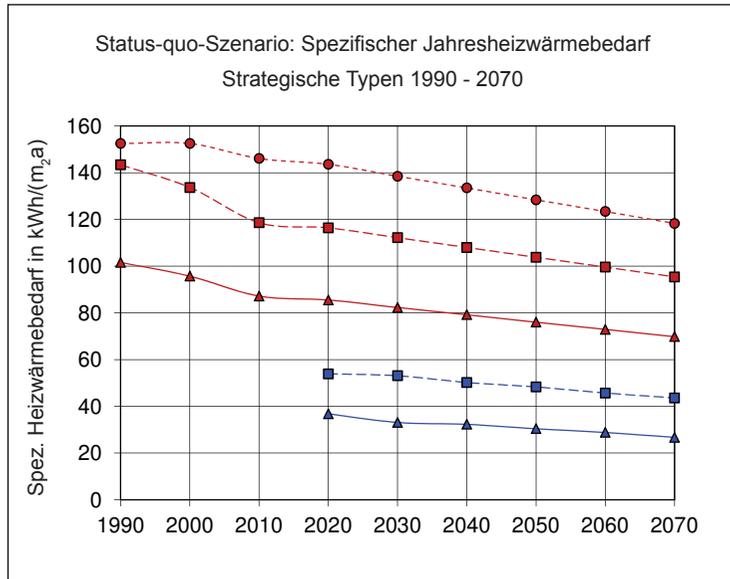
Abb. 5.3 a + b
Entwicklung des Jahresheizwärmebedarfs des Wohngebäudeparks 1990 - 2070 in Vorarlberg im Status-quo- (a) und Business-as-usual-Szenario (b). Ausweisung der Werte getrennt nach den „strategischen Typen“ in GWh/a.



- Neubau MFH ab 2010
- Neubau EFH ab 2010
- Bestand MFH
- Bestand EFH
- Bedingt sanierbarer Bestand

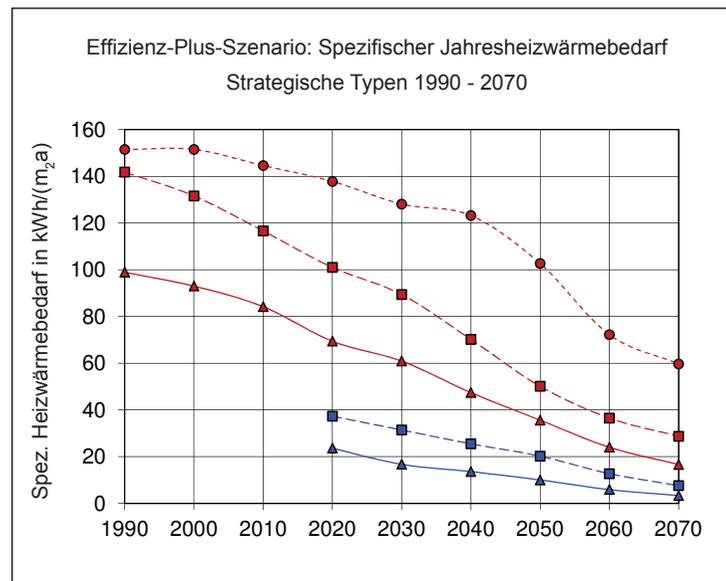
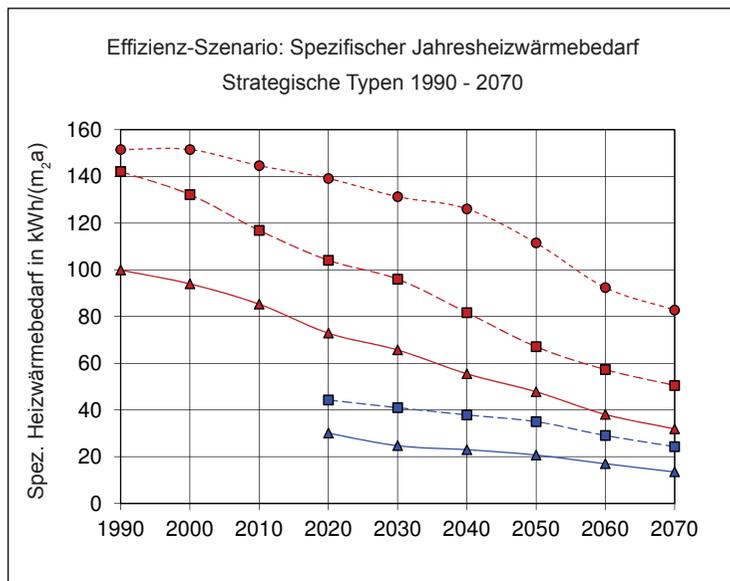
Abb. 5.4 a + b
Entwicklung des Jahresheizwärmebedarfs des Wohngebäudeparks 1990 - 2070 in Vorarlberg im Effizienz- (a) und im Effizienz-Plus-Szenario (b). Ausweisung der Werte getrennt nach den „strategischen Typen“ in GWh/a.





- - Bedingt sanierbarer Bestand
- - Bestand EFH
- ▲ - Bestand MFH
- - Neubau EFH (seit 2010)
- ▲ - Neubau MFH (seit 2010)

Abb. 5.5 a + b
Entwicklung des spezifischen Jahresheizwärmebedarfs des Wohngebäudeparks 1990 - 2070 in Vorarlberg im Status-quo- (a) und im Business-as-usual-Szenario (b). Ausweisung der Werte getrennt nach den „strategischen Typen“ in kWh/(m²a).



- - Bedingt sanierbarer Bestand
- - Bestand EFH
- ▲ - Bestand MFH
- - Neubau EFH (seit 2010)
- ▲ - Neubau MFH (seit 2010)

Abb. 5.6 a + b
Entwicklung des spezifischen Jahresheizwärmebedarfs des Wohngebäudeparks 1990 - 2070 in Vorarlberg im Effizienz-Szenario (a) und im Effizienz-Plus-Szenario (b). Ausweisung der Werte getrennt nach den „strategischen Typen“ in kWh/(m²a).

Der entscheidende Unterschied besteht jedoch in den eingesetzten energetischen Qualitäten der verschiedenen Szenarien. Während im Status-quo- (Abb. 5.5.a) und im Business-as-usual-Szenario (Abb. 5.5.b) nur geringe Verbesserungen erreicht werden können, zeigt sich im Effizienz-Szenario (Abb. 5.6.a) ab 2020 der Erfolg der Dämm- und Lüftungsstrategien in deutlich absinkenden spezifischen Heizwärme-Kennwerten. Zu beachten ist hierbei, dass im Effizienz-Szenario bei den Baudenkmalen und im bedingt sanierbaren Bestand vorerst keine Innendämmungen zum Einsatz kommen.

Dies erfolgt erst im Effizienz-Plus-Szenario (Abb. 5.6.b), in dem neben Innendämmungen zusätzlich technologisch besonders hochwertige Komponenten zum Einsatz kommen, die heute nur als Prototypen oder Designstudien existieren. Dadurch kann nach 2040 auch in den eingriffsempfindlichen Beständen eine spürbare Reduktion des spezifischen Jahresheizwärmebedarfs erreicht werden. Auch in den anderen strategischen Gruppen ergeben sich durchgängig geringere spezifische Bedarfswerte für Heizwärme als im Effizienz-Szenario.

Abschließend werden die Ergebnisse zum Heizwärmebedarf als Absolutwerte in GWh/a in detaillierter Form für jede der 70 Gebäudetypen abgebildet. Durch die hier gewählte Darstellung in Abb. 5.7 - 5.9 wird deutlich, dass sich der Heizwärmebedarf als Summe der Einzelbeiträge aller Gebäudetypen zusammensetzt, die jeweils individuellen Veränderungen unterliegen: Im Bestand lassen sich die Absolutwerte in jedem Typ entweder durch energetische Verbesserungen oder durch Abgänge verbessern. Gleichzeitig kommen durch den Neubau neue Gebäudetypen mit neuen Bedarfswerten hinzu. Erst in der Überlagerung der zeitlich abgestimmten und im Modell genau festgelegten Einzeleffekte kann die Gesamtentwicklung verstanden und auch quantitativ nachvollzogen werden.

Durch die gewählte Modellierung im Kohortenmodell wird die Entwicklung des Heizwärmebedarfs als evolutionärer Prozess

schrittweiser Verbesserung erkennbar. Die Gelegenheiten für Effizienzverbesserungen ergeben sich nur nach und nach über den gesamten Betrachtungszeitraum und sind im Modell aus wirtschaftlichen Gründen immer an ohnehin anstehende Instandhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen gekoppelt.

Die Unterschiede in den Szenarien liegen vor allem in den dort jeweils eingesetzten energetischen Qualitäten der Bau- und Technikkomponenten. Liegt eine hohe Eingriffsempfindlichkeit vor, können die davon betroffenen Maßnahmen nicht oder nur in abgeänderter Form durchgeführt werden. Ein Beobachtungssystem der Klimaschutzmaßnahmen ist ebenfalls auf eine derartige nach räumlichen und sonstigen Merkmalen (z.B. Eingriffsempfindlichkeit, Baualter, Gebäudetyp) differenzierte Typologie angewiesen.

Der Gebäudepark stellt insgesamt ein eher träges System dar, in dem sich neue Standards aufgrund der langen Nutzungsdauern der Bauteile und Komponenten nur langsam durchsetzen können. Für effektive Minderungspfade sind daher langfristige Orientierungen notwendig. Daher war es sinnvoll als Bezugsjahr für die Ziele der Energieautonomie Vorarlbergs das Jahr 2050 zu wählen.

Die Entwicklung in der Anlaufphase seit 1990 ist ebenfalls aufschlussreich. Es ist gut zu erkennen, dass in diesem Zeitraum kaum energetische Verbesserungen im Hinblick auf den Heizwärmebedarf im Bestand erzielt werden konnten, während durch den Neubau immer neue Energieverbraucher hinzukamen. Eine Trendwende ist erst ab dem Jahr 2000 - 2005 sichtbar. Erst dann gehen die Heizwärme-Bedarfswerte im Bestand allmählich zurück, was ab 2015 dann in allen Szenarien zu absinkenden Werten führt. Dieser Minderungspfad fällt dann in der Folge im Business-as-usual-Szenario nur schwach aus, während er im Effizienz-Szenario und noch mehr im Effizienz-Plus-Szenario im Laufe der nächsten Jahrzehnte einen deutlichen Rückgang der Bedarfswerte zur Folge hat.

Business-as-usual-Szenario - Vorarlberg - Kohortenmodell: Jahresheizwärmebedarf in GWh/a

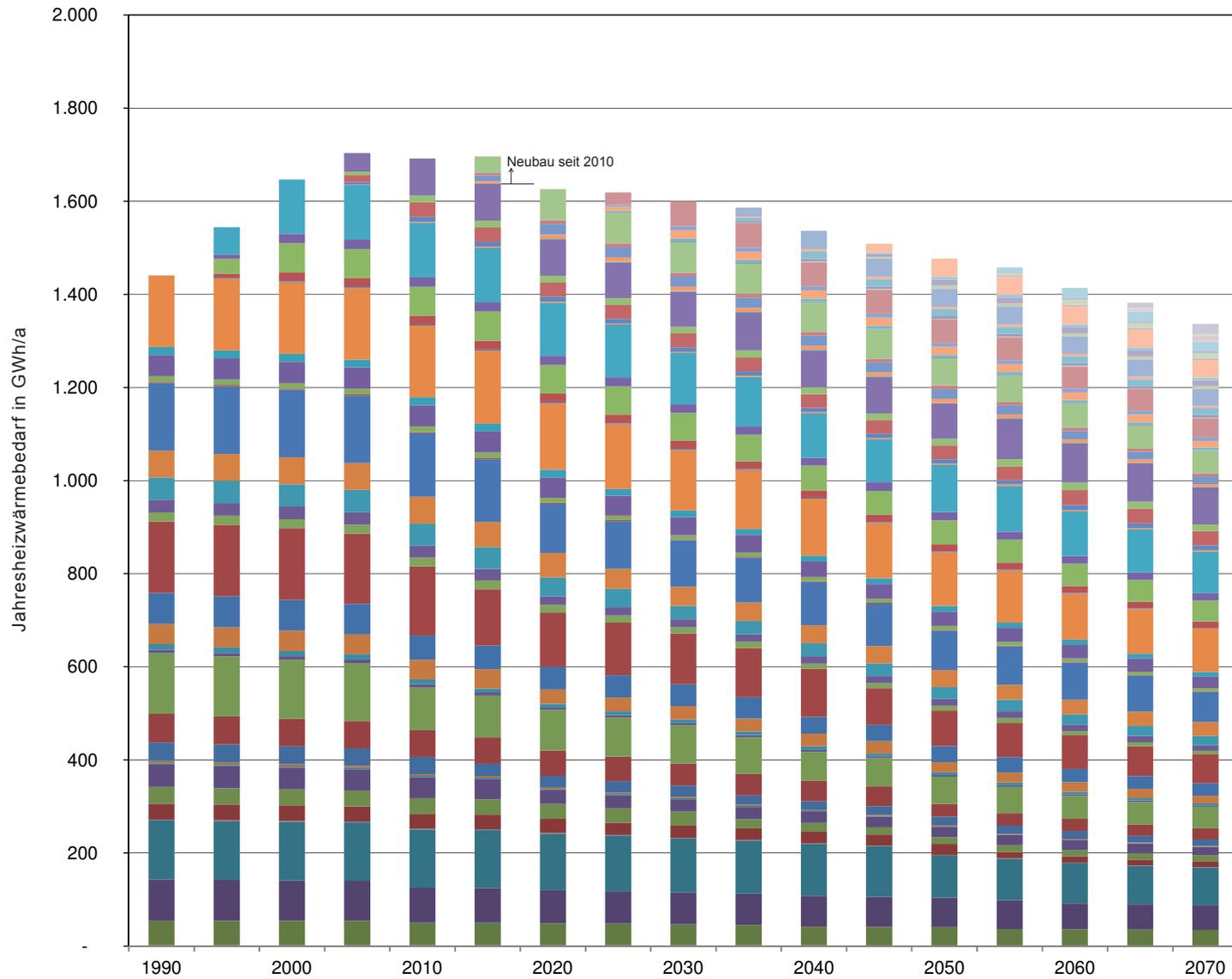


Abb. 5.7
Darstellung der Ergebnisse zum jährlichen Heizwärmebedarf des Kohortenmodells des HWOohngebäudepark Vorarlbergs im Business-as-usual-Szenario. Die Werte der insgesamt 70 Gebäudetypen sind aufeinander gestapelt und bilden damit in differenzierter Form die Gesamtentwicklung in 5-Jahres-Schritten im Zeitraum 1990 - 2070 ab.

Oben sind in abgeschwächten Farbtönen die Neubauten seit 2010 aufgetragen.

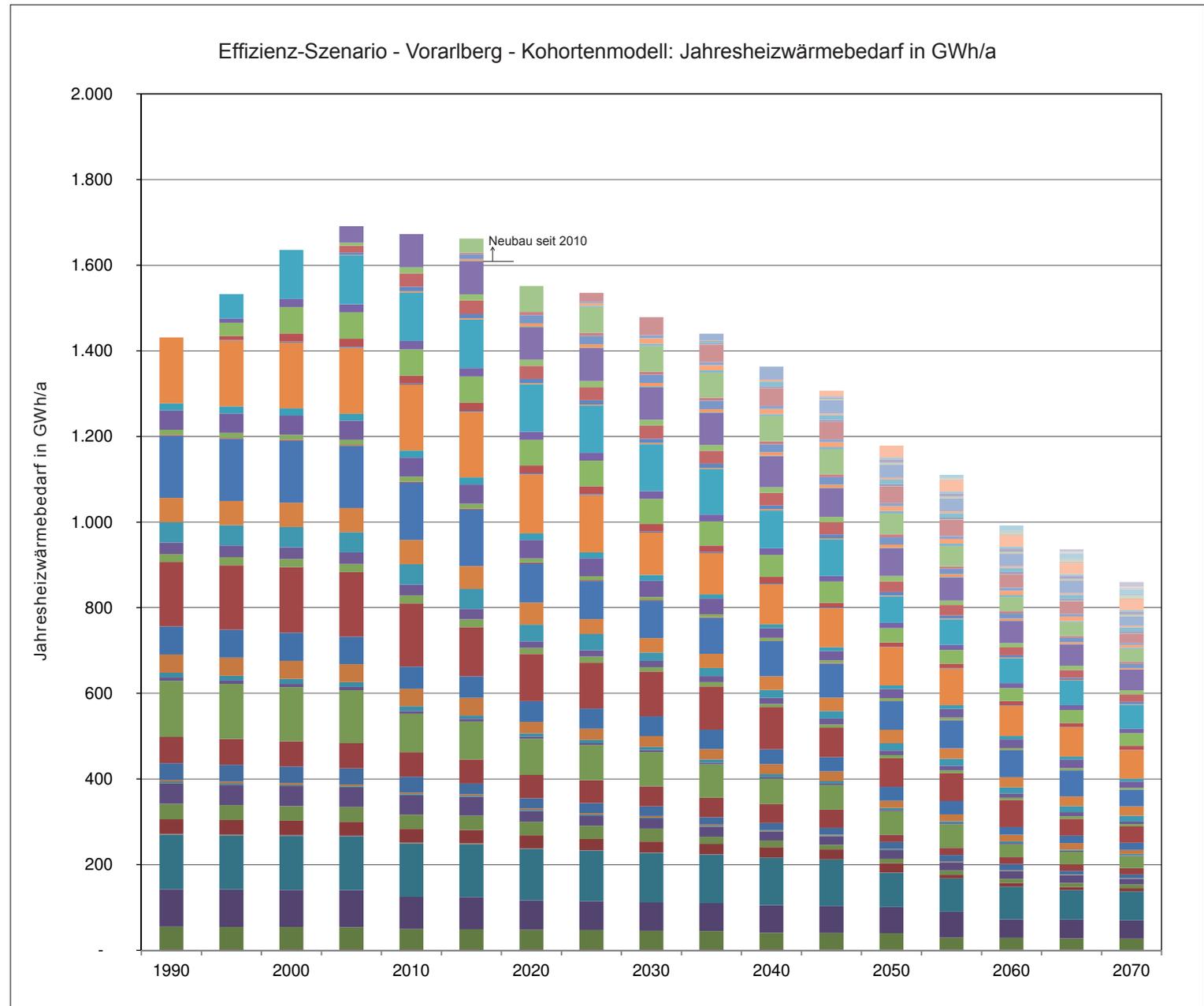
Angabe der Werte in GWh/a.

Abb. 5.8

Darstellung der Ergebnisse zum jährlichen Heizwärmebedarf des Kohortenmodells des Wohngebäudepark Vorarlbergs im Effizienz-Szenario. Die Werte der insgesamt 70 Gebäudetypen sind aufeinander gestapelt und bilden damit in differenzierter Form die Gesamtentwicklung in 5-Jahres-Schritten im Zeitraum 1990 - 2070 ab.

Oben sind in abgeschwächten Farbtönen die Neubauten seit 2010 aufgetragen.

Angabe der Werte in GWh/a.



Effizienz-Plus-Szenario - Vorarlberg - Kohortenmodell: Jahresheizwärmebedarf in GWh/a

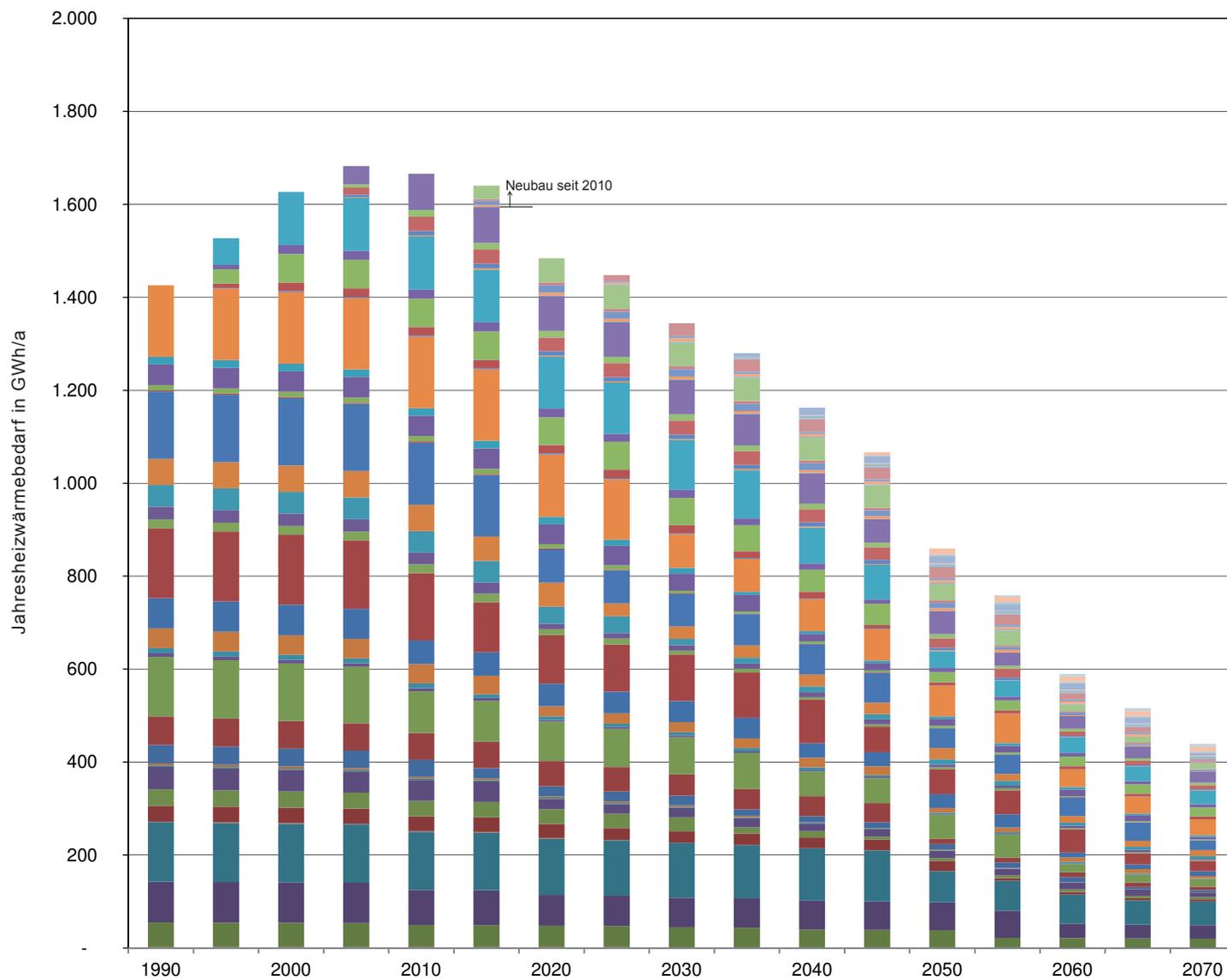


Abb. 5.9
Darstellung der Ergebnisse zum jährlichen Heizwärmebedarf des Kohortenmodells des Wohngebäudepark Vorarlbergs im Effizienz-Plus-Szenario. Die Werte der insgesamt 70 Gebäudetypen sind aufeinander gestapelt und bilden damit in differenzierter Form die Gesamtentwicklung in 5-Jahres-Schritten im Zeitraum 1990 - 2070 ab.

Oben sind in abgeschwächten Farbtönen die Neubauten seit 2010 aufgetragen.

Angabe der Werte in GWh/a.

6 Entwicklung Endenergiebedarf 2010 - 2070

An der Entwicklung des Endenergiebedarfs wird deutlich, welche Effizienzfortschritte beim Energieeinsatz insgesamt und in den verschiedenen Handlungsfeldern innerhalb des Betrachtungszeitraums bis 2050 bzw. 2070 erreicht werden können. Erkennbar ist zunächst, dass eine schnelle Verringerung des Endenergieeinsatzes bis 2020 nicht erwartet werden kann. Grund ist die große Trägheit des Gebäudeparks als Energiesystem. Somit kommt es darauf an, wie dies in den Effizienz-Szenarien der Fall ist, die sich bietenden Gelegenheiten konsequent für den Einsatz hoher Qualitäten zu nutzen. Auf längere Sicht ist dann sehr wohl eine durchgreifende Effizienzsteigerung im Wohngebäudepark erreichbar. Dies stellt im Übrigen auch die Voraussetzung für eine weitgehende Versorgung Vorarlbergs mit erneuerbaren Energien dar. Der eher langsame

Prozess hilft, die dafür notwendige Umstellung der Energieversorgungssysteme ohne abrupte Systembrüche durchführen zu können. Werden hingegen, wie im Business-as-usual-Szenario modelliert, nur mittlere Qualitäten gewählt, bleiben die Bedarfswerte auch längerfristig auf einem hohen Niveau. Sie stellen, weil dies zu spät – d.h., ab etwa 2030 – erkannt wird, dann ein bedeutendes Hemmnis für das Erreichen der Ziele der Energieautonomie Vorarlbergs dar.

Von 1990 bis 2000 steigt der gesamte Endenergieverbrauch von 2820 auf etwa 3000 GWh/a an (Abb. 6.1). Im Status-quo-Szenario verharren die Werte anschließend auf diesem Niveau. Im Business-as-usual-Szenario ergibt sich eine zwar stetige jedoch nur geringe Minderung der Bedarfswerte, die im Jahr 2030 bei 2460 GWh/a und im Jahr 2050 bei 2230 GWh/a zu liegen kommen. Nur in den Effizienz-szenarien kann eine deutliche Reduktion der gesamten Endenergie erreicht werden. Die entsprechenden Kennwerte betragen im Effizienz-Szenario 2120 GWh/a (2030) und 1610 GWh/a (2050) sowie im Effizienz-Plus-Szenario 1810 GWh/a (2030) und 1110 GWh/a (2050).

- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

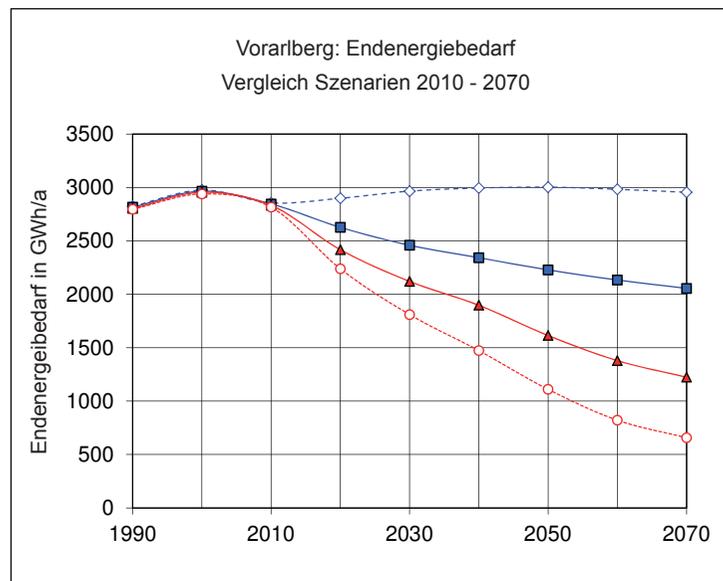


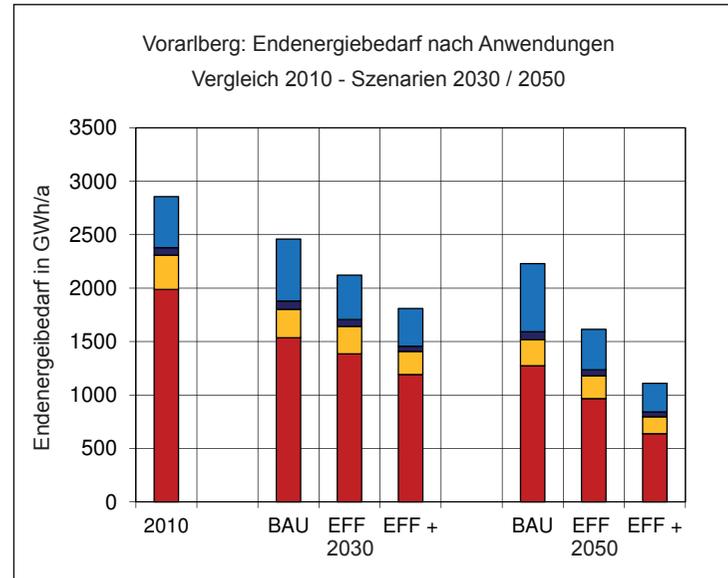
Abbildung 6.1:
Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs in GWh/a in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 1990 - 2070.

In Abb. 6.2 ist der Endenergiebedarf nach Anwendungen im Jahr 2010 denjenigen im Jahr 2030 und 2050 gegenübergestellt. Im Ausgangszustand 2010 dominiert die Raumwärme mit 70 % eindeutig die Endenergienachfrage. Für die Verbesserung der Effizienz kommt es darauf an, sowohl im Bereich der Gebäudehülle und der Lüftungskonzepte als auch bei der Wärmeversorgung (Erzeugung, Speicherung, Verteilung) kombinierte Strategien im Gesamtbestand zu etablieren. Werden hierbei, wie dies im Business-as-usual-Szenario der Fall ist, nur mittlere Qualitäten eingesetzt, gelingt es kaum, eine spürbare Reduzierung des Endenergiebedarfs in diesem zentra-

len Anwendungsfeld zu erreichen. Ausgehend von ca. 1990 GWh/a liegen die Bedarfswerte hier im Jahr 2030 bei 1540 GWh/a und im Jahr 2050 bei etwa 1270 GWh/a. Durch den Einsatz höherer Qualitäten wie im Effizienz-Szenario modelliert, sinken diese Werte bereits spürbar ab und betragen 2030 etwa 1380 GWh/a und im Jahr 2050 ca. 970 GWh/a, was mit 49 % knapp der Hälfte des Wertes von 2010 entspricht. Erst unter den Bedingungen des Effizienz-Plus-Szenarios gelingt ein durchgreifender Minderungserfolg bei der Raumbeheizung des Gesamtbestandes. Die Werte sinken hier im Jahr 2030 auf 1190 GWh/a und im Jahr 2050 sogar auf 640 GWh/a ab und betragen dann mit 32 % nur noch knapp ein Drittel des Ausgangswertes von 2010.

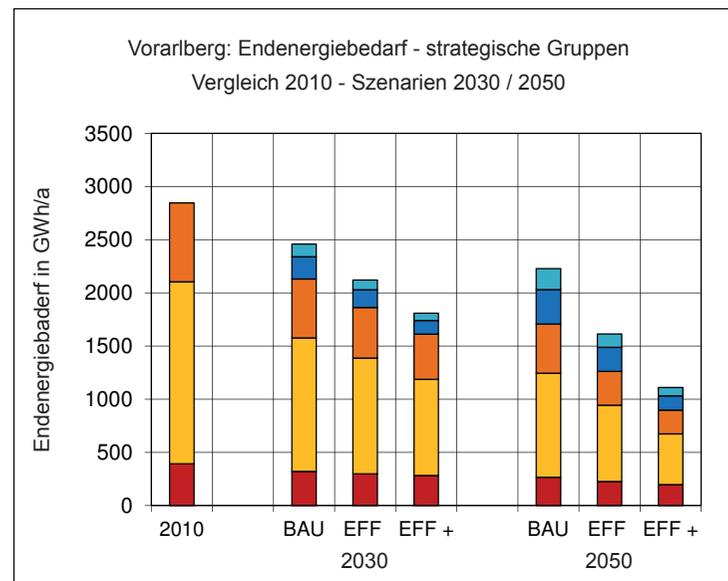
Für die Warmwasseranwendungen sind nur geringe Effizienzverbesserungen erzielbar. Das liegt einerseits an den Hygienebestimmungen (z.B. Schutz vor Legionellen), die hohe Betriebstemperaturen oder aufwändige Verteilsysteme erfordern und andererseits an den steigenden Komfortansprüchen der Nutzer. Informativ seien auch hier die Werte 2030 und 2050 genannt. Ausgehend vom Ausgangswert von 320 GWh/a im Jahr 2010 betragen sie im Business-as-usual-Szenario 266 und 244 GWh/a, im Effizienz-Szenario 257 und 212 GWh/a und schließlich im Effizienz-Plus-Szenario 216 und 158 GWh/a. Gerade im Bereich der Warmwasseranwendungen sind daher neue Effizienzstrategien (z.B. Duschwasser-Wärmerückgewinnung) von hohem Interesse. Diese kommen vor allem im Effizienz-Plus-Szenario zum Einsatz.

Bei den Stromanwendungen sind die Unterschiede zwischen den Szenarien besonders groß. Im Business-as-usual-Szenario steigen die Bedarfswerte von 478 GWh/a im Jahr 1990 auf 580 GWh/a 2030 bzw. 637 GWh/a im Jahr 2050 an. Hintergrund sind neue Stromanwendungen in den Haushalten, die durch die zurückhaltenden Effizienzverbesserungen der Geräte und Ausstattungen nicht ausgeglichen werden können. In den Effizienz-Szenarien kann der Endenergiebedarf für Strom jedoch



- Haushaltsstrom
- Hilfsstrom
- Warmwasser
- Raumwärme

Abbildung 6.2
Entwicklung des Endenergiebedarfs in GWh/a, differenziert nach den Hauptanwendungen in den Wohngebäuden. Vergleich der Werte 2010 mit denen der Jahre 2030 und 2050 im Business-as-usual- (BAU), im Effizienz- (EFF) und im Effizienz-Plus-Szenario (EFF +).



- Neubau MFH ab 2010
- Neubau EFH ab 2010
- Bestand MFH
- Bestand EFH
- Bedingt sanierbarer Bestand

Abbildung 6.3
Entwicklung des Endenergiebedarfs in GWh/a, differenziert nach den strategischen Gruppen. Vergleich der Werte 2010 mit denen der Jahre 2030 und 2050 im Business-as-usual- (BAU), im Effizienz- (EFF) und im Effizienz-Plus-Szenario (EFF +).

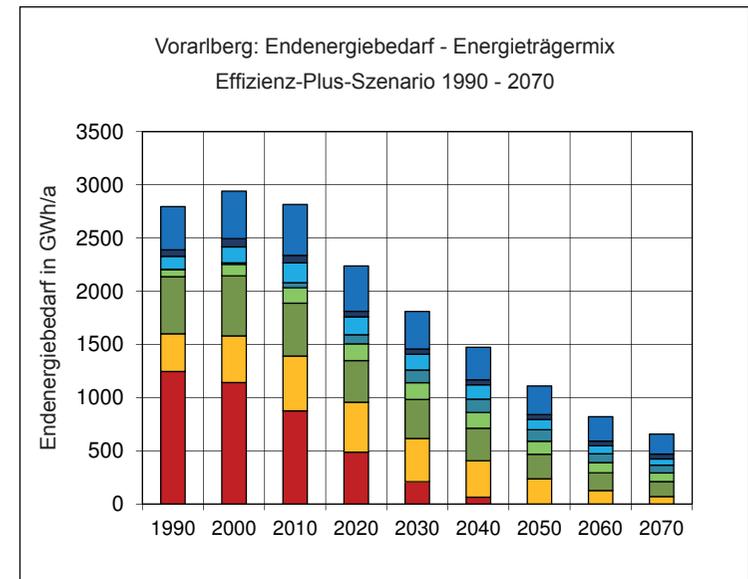
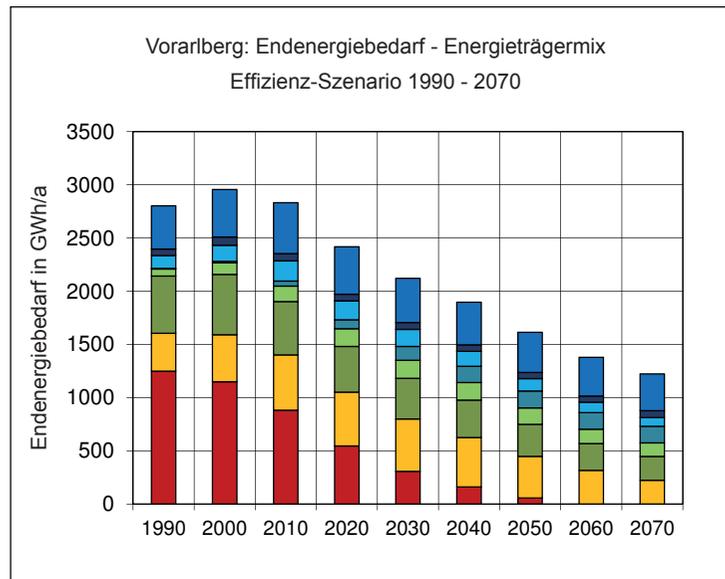
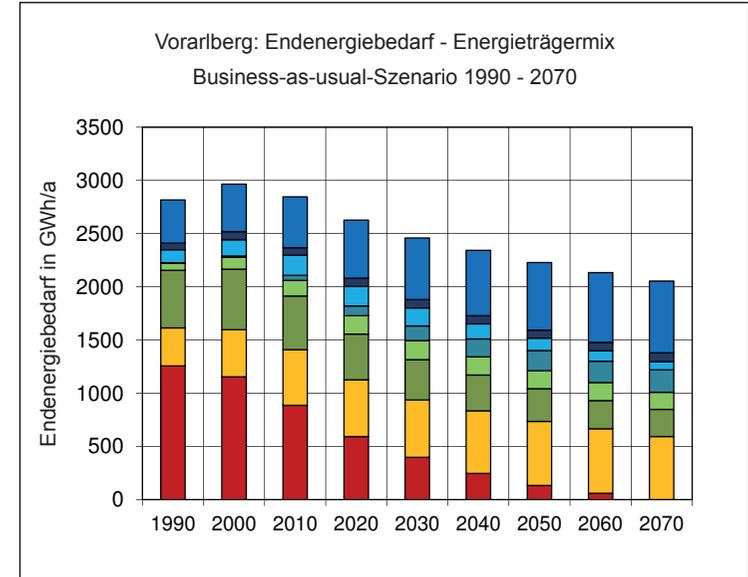
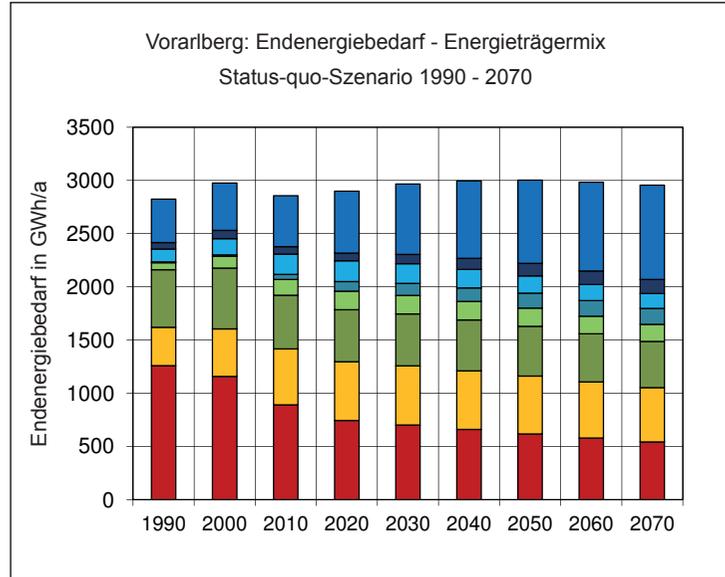
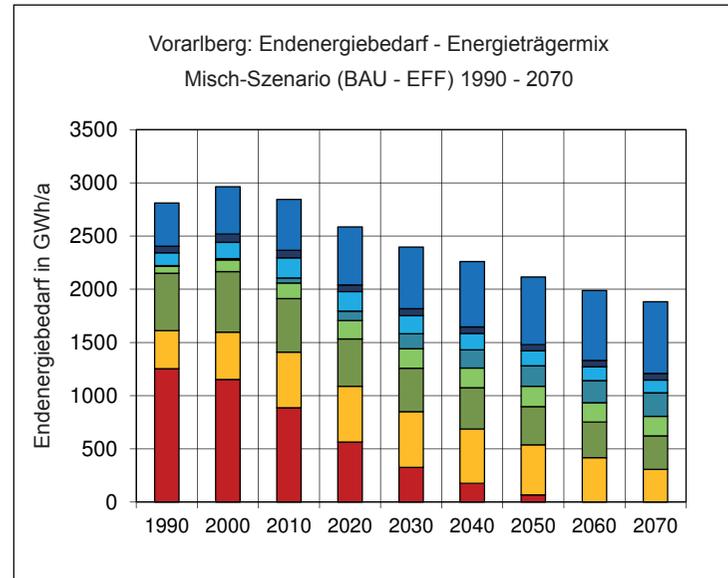


Abbildung 6.4 a - d
Entwicklung des Endenergiebedarfs in GWh/a, differenziert nach den Energieträgern der Versorgungssysteme im Zeitraum 1990 - 2070 für alle vier Hauptszenarien:
a Status-quo-Szenario (links, oben)
b Business-as-usual-Szenario (rechts, oben)
c Effizienz-Szenario (links, unten)
d Effizienz-Plus-Szenario (rechts, unten).
Die Szenarien unterscheiden sich u.a. im Hinblick auf die Zeitpunkte des Ausstiegs aus den fossilen Heizsystemen, speziell Heizöl.

nach und nach reduziert werden. Dies gelingt vor allem durch Effizienzsteigerungen bei Haushaltsgeräten, Beleuchtung und Kleinanwendungen (z.B. Stand-by-Funktionen, Kommunikationselektronik) aber auch durch Verbesserung der Nutzungseffizienz (z.B. durch Bewegungsmelder, schaltbare Steckdosen und Zeitschaltuhren). Im Effizienz-Szenario sinken die Strombedarfswerte daher bis 2030 auf 415 GWh/a und bis 2050 auf 378 GWh/a ab. Bezieht man zusätzlich technologische Fortschritte mit ein, wie dies im Effizienz-Plus-Szenario der Fall ist, können die Strombedarfswerte nochmals deutlich reduziert werden. Sie betragen dann etwa 354 GWh/a im Jahr 2030 und nur noch 269 GWh/a im Jahr 2050.

Hinsichtlich Komfort und Anwendungsumfang unterscheiden sich die Szenarien nicht untereinander, d.h. es wurden bei den Szenarien keine Suffizienzstrategien modelliert, auch wenn diese durchaus wertvolle Beiträge zur Reduzierung des Endenergiebedarfs leisten könnten (siehe hierzu weiterführende Hinweise im nächsten Unterabschnitt). Dies hat v.a. modelltechnische Gründe, um die Vergleichbarkeit der Effizienzstrategien zwischen den Szenarien sicherzustellen. In Abb.6.3 ist die Entwicklung des Endenergiebedarfs in Bezug auf die strategischen Typen dargestellt. Hier wird erkennbar, dass durch den Neubau ab 2010 in relevantem Umfang neue Endenergie benötigt wird. Im Status-quo-Szenario verbleiben daher die Werte trotz des allmählichen Abgangs von schwierig sanierbaren Bestandsgebäuden insgesamt auf dem Niveau von 2005. Im Business-as-usual-Szenario, können die Bedarfswerte durch die energetische Sanierung des Bestandes und die allmähliche Umstellung der Heizsysteme von fossilen auf erneuerbare Systeme spürbar sinken. Die Gesamtreduktion fällt jedoch zu gering aus, um von einer Effizienzstrategie sprechen zu können. Im Effizienz-Szenario führt der Einsatz von hohen Qualitäten bei den Bau- und Technikkomponenten trotz des deutlichen Zuwachses der Wohnflächen zu einer deutlichen Abminderung der Endenergiebedarfswerte. Hierbei spielt auch der Neubau eine entscheidende Rolle. Noch deutlichere Effizienz-



- Haushaltsstrom
- Hilfsstrom
- Strom-direkt
- Strom - Wärmepumpen
- Fern-/Nahwärme
- Biomasse
- Erdgas
- Heizöl

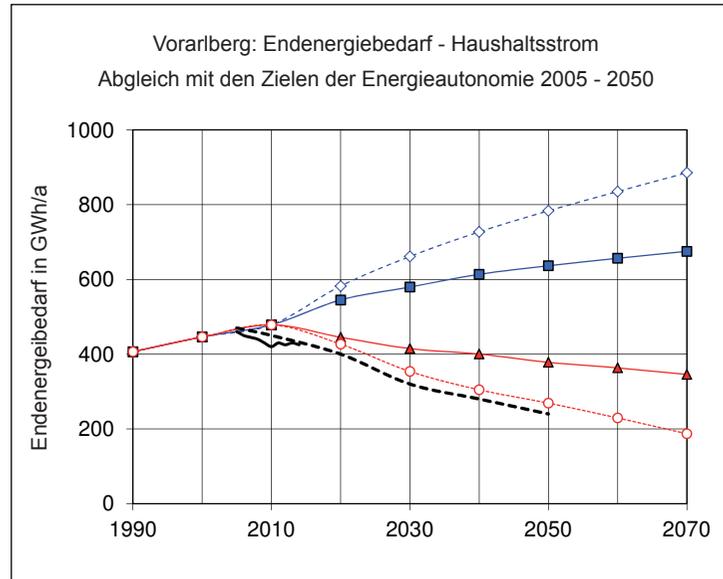
Abbildung 6.5
Entwicklung des Endenergiebedarfs in GWh/a, differenziert nach den Energieträgern der Versorgungssysteme im Zeitraum 1990 - 2070 für das sog. Mischszenario. In diesem wird nur die Energieversorgung, wie im Effizienzscenario modelliert, während alles andere wie im Business-as-usual-Szenario angenommen wird.

zerfolge stellen sich ein, wenn man den technologischen Fortschritt bewusst mit einbezieht, wie dies im Effizienz-Plus-Szenario der Fall ist.

Betrachtet man nun die Aufteilung der Endenergiebeiträge getrennt für die Energieträger (Abb. 6.4 a-d) wird zusätzlich sichtbar, wie wichtig der Wandel der Strom- und Wärmeerzeugungsstruktur für den Erfolg der Effizienzstrategien insgesamt ist. Am besten wird dies am direkten Vergleich der Szenarien mit dem Status-quo-Szenario sichtbar: In diesem spielen die Stromanwendungen eine sehr große Rolle, weil in der konventionellen Stromerzeugung hohe Umwandlungsverluste auftreten (z.B. brennstoffgestützte Kraftwerke, Pumpspeicherkraftwerke). Durch den verstärkten Ausbau neuer erneuerbarer Systeme neben der bereits ausgebauten Wasserkraft, wie Windkraft und Photovoltaik sinkt dann auch der relative Endenergieeinsatz für die Strombereitstellung mit ab. Dies ist vor allem in den Effizienzscenario der Fall. Ähnlich gelagert ist der Fall bei den Wärmeanwendungen. Dort weisen alle brenn-

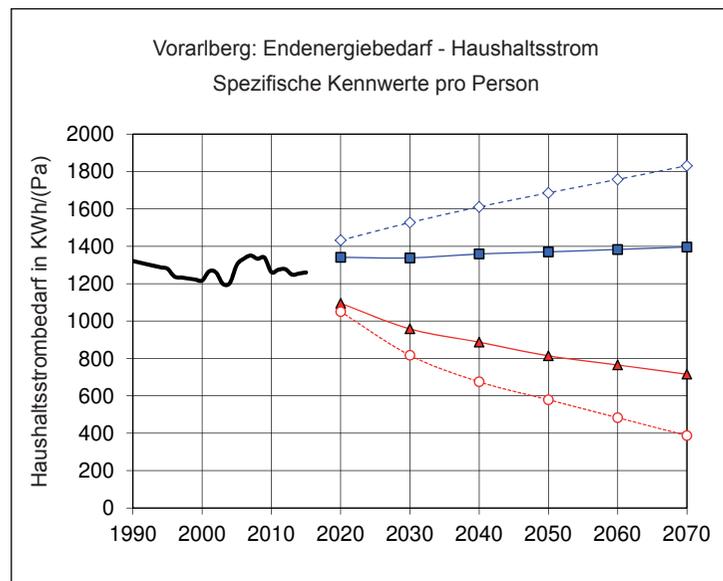
- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus
- Monitoring Energieautonomie
- - - Ziele Energieautonomie

Abbildung 6.6
Entwicklung des Endenergiebedarfs für Haushaltsstrom in allen Wohngebäuden Vorarlbergs (1990 - 2070) in den vier Szenarien. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse sind die Ziele der Energieautonomie 2005 - 2050 mit angegeben. Zusätzlich sind die Ergebnisse des Monitorings der Energieautonomie aus den Jahren 2005 - 2014 aufgetragen.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus
- IST - Entwicklung

Abbildung 6.7
Entwicklung des spezifischen Endenergiebedarfs für Haushaltsstrom pro Person in allen Wohngebäuden Vorarlbergs (1990 - 2070). Zum Vergleich sind die Ist-Entwicklung des Verbrauchs seit 1990 gemäß dem Energiebericht 2014 (AVL 2014) und aus (Consiste 2008, S. 16) aufgetragen. Angabe der Werte in kWh/(Pa).



stoffgestützten Systeme (Heizöl-, Erdgas- und Biomasseheizungen) hohe Umwandlungsverluste auf. Der allmähliche Ausstieg aus den fossil gestützten Systemen führt daher neben dem hier entscheidenden Aspekt der Reduktion der Treibhausgase auch zu einem Absinken des relativen Endenergieeinsatzes je bereitgestellter Wärmeeinheit.

Misch-Szenario

In einem speziellen Misch-Szenario (Abb. 6.5) wurde zusätzlich untersucht, wie sich der Endenergiebedarf entwickeln würden, wenn man die Gebäudequalität (Hülle, Lüftungskonzepte, Warmwasser- und Strom-Nutzenergiebedarf) wie im Business-as-usual-Szenario, die Versorgungsstruktur (Strom- und Wärmeversorgung) jedoch wie im Effizienz-Szenario modellieren würde. Das Ergebnis ist auf den ersten Blick überraschend, weil kaum Unterschiede zum Referenzfall (BAU) existieren (vgl. Abb. 6.4.b). Die Erklärung hierfür liegt vor allem in den zu hohen Nutzenergie-Bedarfswerten im Business-as-usual-Szenario, die durch eine effizientere Versorgungstechnik nicht ausgeglichen werden können.

Hinzu kommt, dass ein konsequenter Ausbau erneuerbarer Systeme aus technischen und wirtschaftlichen Gründen auf Effizienzsteigerungen der zu versorgenden Gebäuden angewiesen ist. Einerseits ist hierbei die begrenzte Verfügbarkeit bestimmter Energieträger (z.B. Biomasse) zu beachten, andererseits ist ein wirtschaftlicher Betrieb und/oder eine leistbare Energieversorgung stark von den jährlichen Verbrauchswerten und dem zeitlichen Verlauf (Tages- Wochen- und Saison-gang) abhängig. Bei Gebäuden mit geringem Heizbedarf ist sowohl die Eigendeckung als auch die jahreszeitliche Gleichmäßigkeit deutlich höher, als bei Gebäuden mittlerer Qualität. Als Ergebnis wird sichtbar, dass eine sinnvolle Effizienzstrategie alle Komponenten des Gesamtsystems umfassen sollte und ein Gegeneinander-Ausspielen von gebäudegebundenen Maßnahmen und den Strategien zur Verbesserung der Versorgungssysteme nicht zum Erfolg führt.

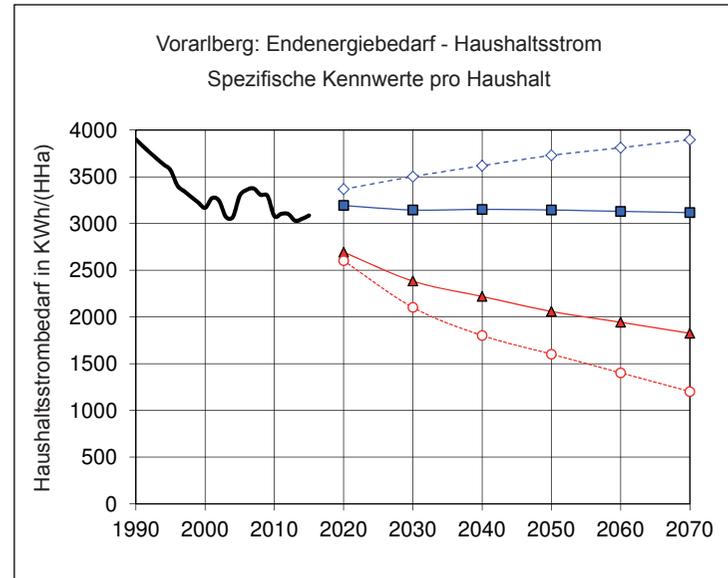
Haushaltsstrombedarf

Der Haushaltsstrom ist der bedeutendste Teilbereich der Stromanwendungen in den Haushalten. Interessant ist hier der Abgleich mit den Zielen der Energieautonomie Vorarlberg, wie in Abb. 6.6 dargestellt. Es ist gut erkennbar, dass diese nur mit den Vorgaben des Effizienz-Plus-Szenarios erreichbar sind. Nur dort können die Bedarfswerte ausgehend von 470 GWh/a im Jahr 2010 bis 2030 auf etwa 340 GWh/a und bis 2050 auf etwa 250 GWh/a genügend stark abgesenkt werden. Schon im Effizienz-Szenario liegen diese Werte 2030 mit 400 GWh/a und 2050 mit 350 GWh/a spürbar zu hoch. Im Business-as-usual-Szenario hingegen werden die Ziele mit 560 GWh/a im Jahr 2030 und fast 600 GWh/a im Jahr 2050 weit verfehlt. Es handelt sich beim Haushaltsstrom daher um ein strategisch besonders wichtiges Handlungsfeld, das u.U. im Rahmen einer separaten Sonderstudie genauer betrachtet werden sollte.

Die Pro-Kopf-Werte (Abb. 6.7) steigen im Business-as-usual-Szenario aufgrund neuer Anwendungen im Vergleich zum Ausgangswert im Jahr 2010 mit etwa 1260 kWh/(Pa) bis 2030 auf 1340 kWh/(Pa) leicht an, während im Effizienz-Szenario eine Reduzierung auf 960 kWh/(Pa) und im Effizienz-Plus-Szenario sogar auf 820 kWh/(Pa) gelingt. Im Jahr 2050 liegt dieser Wert im Business-as-usual-Szenario nahezu unverändert bei 1370 kWh/(Pa), während er in den Effizienz-Szenarios mit ca. 810 bzw. 580 kWh/(Pa) deutlich weiter abgesunken ist. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den spezifischen Kennwerten je Haushalt (siehe Abb. 6.8).

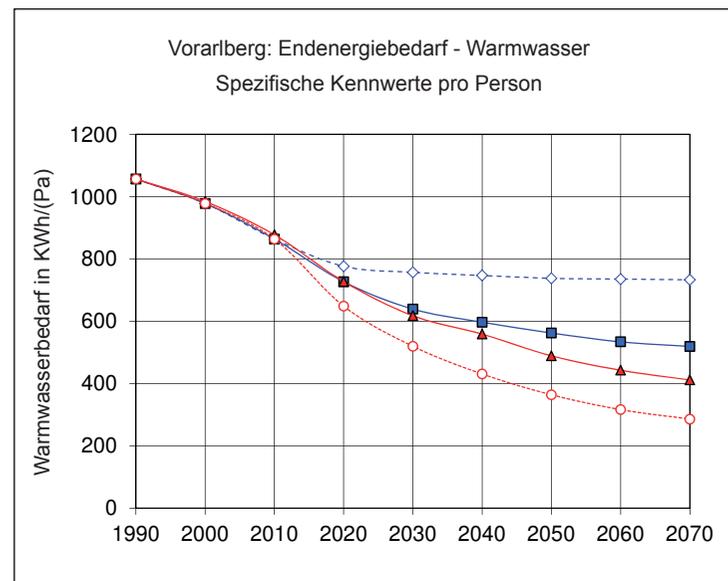
Warmwasserbedarf

Der spezifische Warmwasserbedarf pro Person ist in Abb. 6.9 aufgetragen. In diesem Anwendungsfeld sind die Unterschiede zwischen den Szenarien weniger ausgeprägt als im Bereich Raumwärme und Strom. Jedoch tragen auch die hier möglichen Effizienzverbesserungen zu der positiven Gesamtentwicklung in den Effizienzszenarios bei, die sich ja aus vielen kleinen Einzelbeiträgen zusammensetzt.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus
- IST - Entwicklung

Abbildung 6.8
Entwicklung des spezifischen Endenergiebedarfs für Haushaltsstrom pro Haushalt in allen Wohngebäuden Vorarlbergs (1990 - 2070). Zum Vergleich ist die Ist-Entwicklung des Verbrauchs seit 1990 gemäß dem Energiebericht 2014 (AVL 2014) und aus (Consiste 2008, S. 16) angetragen. Angabe der Werte in kWh/(HHa).

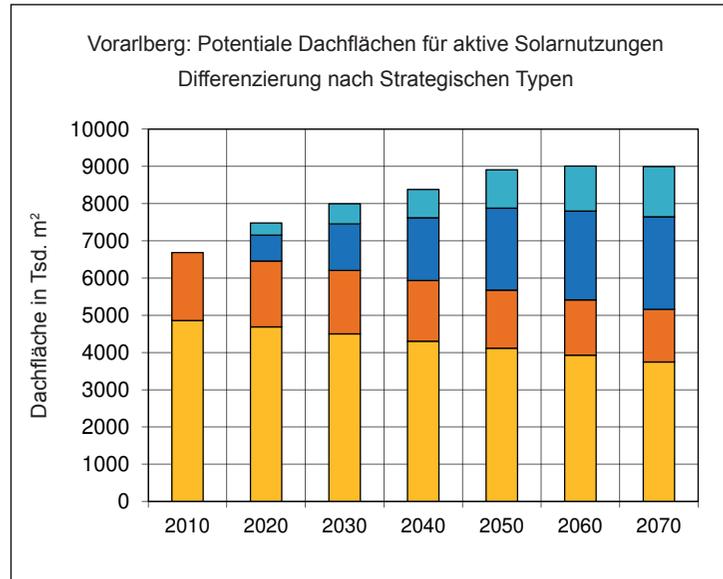


- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 6.9
Entwicklung des spezifischen Endenergiebedarfs für Warmwasser pro Person in den Wohngebäuden Vorarlbergs (1990 - 2070). Angabe der Werte in kWh/(Pa).

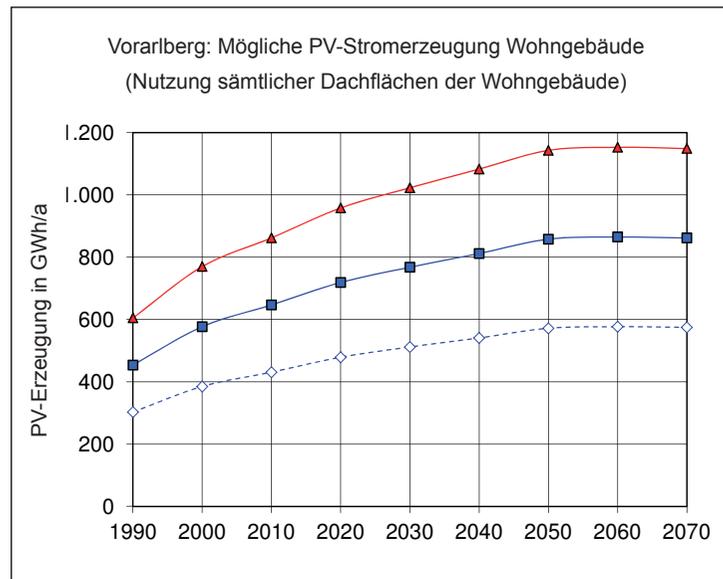
- Neubau MFH ab 2010
- Neubau EFH ab 2010
- Bestand MFH
- Bestand EFH

Abbildung 6.10
Dachflächenpotenziale für aktive Solarnutzungen (Thermische Solaranlagen und Photovoltaikanlagen) auf allen Wohngebäuden Vorarlbergs (2010 - 2070). Die Flächen sind getrennt für die strategischen Typen aufgetragen. Angabe der Werte in Tsd. m².



- ◇- minimales Potenzial
- mittleres Potenzial
- ▲- maximales Potenzial

Abbildung 6.11
Mögliche Erzeugung von Photovoltaikstrom auf allen Wohngebäuden Vorarlbergs (1990 - 2070). Es sind drei Abschätzungen (minimal, mittel, maximal) aufgetragen, die sich in ihren Annahmen unterscheiden. Weitere Erläuterungen siehe Text. Angabe der Werte in GWh/a.



Potenziale Solardächer zur Erzeugung von PV-Strom

Um die Dachflächenpotenziale zur Nutzung aktiver Solartechniken (z.B. thermische Solaranlagen und Photovoltaik) zu bestimmen, wurden für alle Gebäudemodelle die Dachflächen ermittelt, die Richtung Süden, Westen oder Osten ausgerichtet sind. Dabei wurde berücksichtigt, dass durch geforderte Randabstände, Kamine, Gauben, Dachflächenfenster nicht die reinen Dachflächen, sondern nur Teilbereiche zur Verfügung stehen. Teilweise schränken auch die räumlichen Randbedingungen (z.B. Verschattung durch Bäume und Nachbarbebauung) die Einsatzmöglichkeiten für eine aktive Solarnutzung ein. Generell wurden nur 80 % der geometrisch ermittelten Dachflächen jeweils ohne Dachüberstände angesetzt.

Ganz bewusst werden die Fassaden nicht mitbetrachtet. Hier liegen im Einzelfall sehr viele Beschränkungen vor (z.B. Fenster- und Balkonanordnungen, Fassadenversprünge und -gliederungen) und eine Verschattung stellt eher den Regel- als den Ausnahmefall dar. Daher stellen die Südfassaden eine „Flächenreserve“ für die Fälle dar, die als mindernde Faktoren bei den Dächern nicht berücksichtigt wurden.

In Abb. 6.10 wird die Entwicklung des Dachflächenpotenzials aller Wohngebäude Vorarlbergs im Zeitraum 2010 - 2070 dargestellt. Vor allem die Dächer der Ein- und Zweifamilienhäuser haben große Bedeutung für die Energieproduktion von Solarstrom bzw. Solarwärme. Dies gilt sowohl im Bestand als auch im Neubau. Gründe hierfür sind das im Vergleich zu Mehrfamilienhäusern günstige Verhältnis von Dach- zu Wohnfläche und der hohe Anteil von über 50 % der Ein- und Zweifamilienhäuser an der Gesamtwohnfläche (siehe Abb. 2.6, S. 33).

Bei den Dachflächen wird der bedingt sanierbare Bestand nicht mit berücksichtigt, weil davon ausgegangen wird, dass speziell bei denkmalgeschützten Gebäuden eine Integration von thermischen Solaranlagen oder Photovoltaikmodulen aus gestalterischen Gründen schwierig oder ausgeschlossen ist.

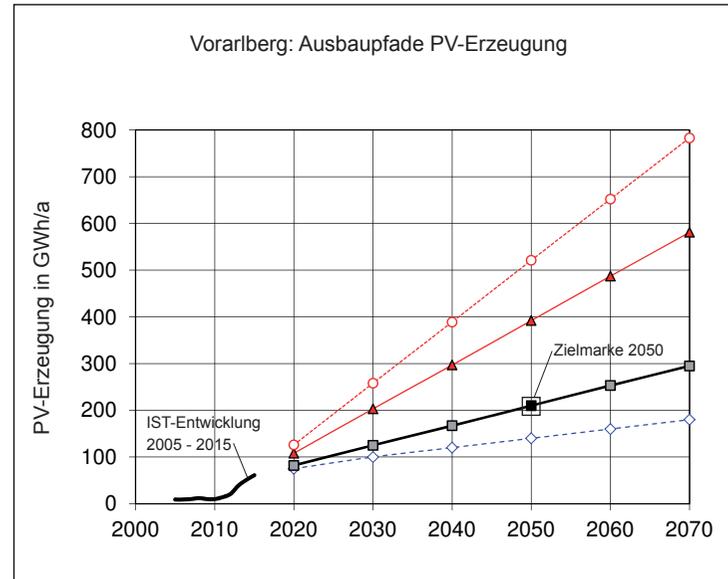
In Abb. 6.11 ist das theoretische Potenzial für die Solarstromerzeugung in GWh/a angegeben. Es ergibt sich auf der Grundlage von drei Ertragsstufen (siehe Tab. 4.10, S. 69).

Ferner wurde berücksichtigt, dass ein bestimmter Flächenanteil für thermische Solaranlagen genutzt wird. Dieser beträgt derzeit 3 - 4 % und wird bei linearer Fortschreibung des Ausbaus bis 2070 auf 8 - 10 % aller Dachflächen anwachsen.

Entwicklung des Strombedarfs und des denkbaren Ausbaus der Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen

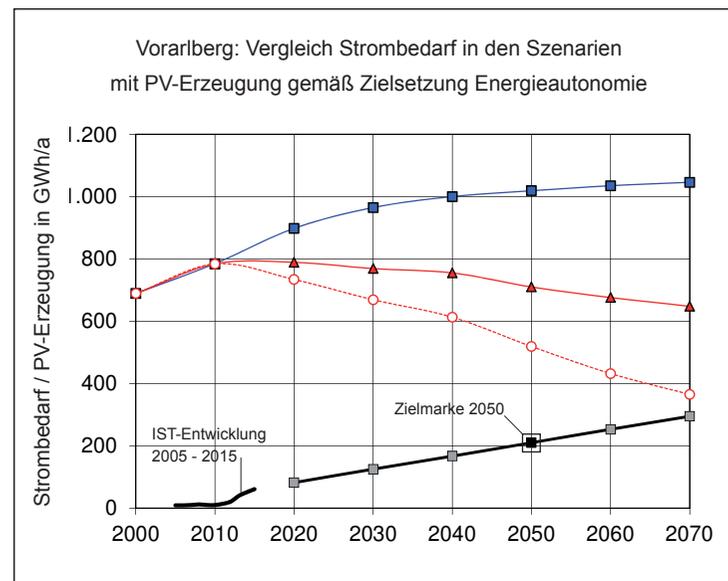
Derzeit sind in Vorarlberg nur wenige Photovoltaikflächen vorhanden. Erst ab 2011 lässt sich ein steigender Zubau feststellen, mit dem bis 2015 auf ca. 500 Tsd. m² Modulfläche ein PV-Ertrag von 61 GWh/a erzielt werden konnte. In Abb. 6.12 sind verschiedene Ausbaupfade für Photovoltaik für den Zeitraum 2010 - 2070, ausgehend von der bisherigen Entwicklung in den Jahren 2005 - 2015, gegenübergestellt. Die Steigungen entsprechen hierbei verschiedenen Ausbautempi, wie sie in den vergangenen Jahren jeweils beobachtet werden konnten. Besonders hervorgehoben ist ein Pfad, der das selbstgesteckte Ziel der Energieautonomie von ca. 210 GWh/a im Jahr 2050 erreicht und dieses Ausbautempo auch in der Zukunft weiter fortführt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass diese Zielmarke hier alleine auf den Dächern der Wohngebäude erzielt wird, d.h., in Vorarlberg sind zusätzliche Potenziale auf den Dächern von Nichtwohngebäuden und Freianlagen vorhanden, die sicherlich Mehrerträge von 30 - 50 % erbringen können. Besonders gut geeignet sind die Dachflächen von Industrie- und Gewerbebauten, weil diese im Vergleich zu Wohnbauten viel großflächiger sind und – mit Ausnahme der statischen Tragfähigkeit, die vorhanden sein muss – zudem geringere Einschränkungen für eine Aufstellung von Photovoltaikmodulen aufweisen.

Interessant ist nun der Vergleich dieses Ausbaupfads mit dem Strombedarf der privaten Haushalte. Es ist gut erkennbar, dass nur unter den Randbedingungen des Effizienz-Plus-Szenarios



- PV-Ausbau Energieautonomie
- -◇- - Moderater Ausbau
- -▲- - Forcierter Ausbau
- -○- - Maximaler Ausbau
- IST-Entwicklung 2005 - 2015

Abb. 6.12 Darstellung verschiedener Ausbaupfade für die Stromerzeugung mit Photovoltaik auf den Dächern der Wohngebäude in Vorarlberg 2020 - 2070. Zur besseren Orientierung ist die bisherige Entwicklung im Zeitraum 2005 - 2015 sowie die Zielmarke für den PV-Ausbau gemäß den Vorgaben der Energieautonomie aufgetragen. Angabe der Werte in GWh/a.



- PV-Ausbau Energieautonomie
- Business-as-usual
- -▲- - Effizienz
- -○- - Effizienz-Plus
- IST - Entwicklung

Abb. 6.13 Gegenüberstellung des denkbaren Ausbaus der Photovoltaikerzeugung gemäß den Zielvorgaben der Energieautonomie im Vergleich zum Strombedarf in den Szenarien 2000 - 2070. Zur besseren Orientierung ist die bisherige Entwicklung im Zeitraum 2005 - 2015 sowie die Zielmarke für den PV-Ausbau gemäß den Vorgaben der Energieautonomie aufgetragen. Angabe der Werte in GWh/a.



Abb. 6.14
Vergleich zwischen Strombedarf im Effizienz-Szenario und der PV-Stromerzeugung gemäß den Zielen der Energieautonomie Vorarlberg. Zusätzlich ist als rote Linie der eigengenutzte Anteil des selbst erzeugten Solarstroms angetragen. Angabe in GWh/a.

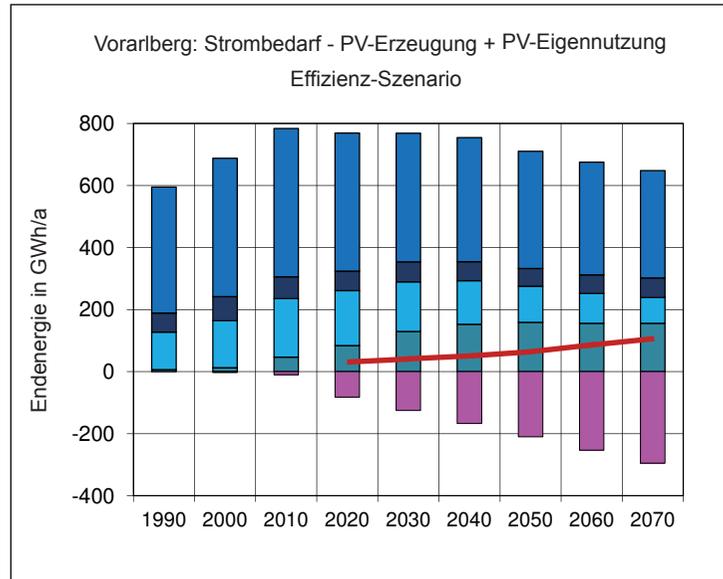
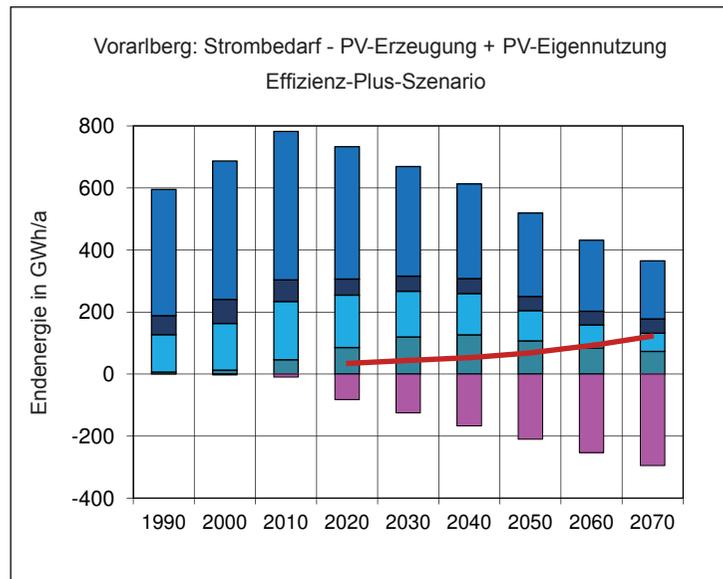


Abb. 6.15
Vergleich zwischen Strombedarf im Effizienz-Plus-Szenario und der PV-Stromerzeugung gemäß den Zielen der Energieautonomie Vorarlberg. Zusätzlich ist als rote Linie der eigengenutzte Anteil des selbst erzeugten Solarstroms angetragen. Angabe in GWh/a.



die PV-Produktion jahresbilanziell in die Nähe des Strombedarfs geführt werden kann. Wenn man das Ziel einer vollständigen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien anstrebt, ist gerade bei den Stromanwendungen die Energieeffizienz der Stromgeräte und sonstiger Stromverbraucher besonders wichtig. Auch und gerade aus wirtschaftlichen Gründen sind Investitionen in Stromeffizienz daher deutlich günstiger, als ein (noch) stärkerer Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung.

Für die Effizienzszzenarien wird nun abschließend genauer analysiert, welchen Beitrag die Photovoltaik zur Deckung des Strombedarfs in den privaten Haushalten leisten kann. Bei der Photovoltaiknutzung wird normalerweise der erzeugte Strom zunächst direkt in den Wohngebäuden genutzt und nur die Überschüsse ins Netz eingepreist. Daher ist von Interesse, wie hoch der Eigennutzungsanteil unter verschiedenen Randbedingungen ist. Er hängt von einer Reihe von Einflussfaktoren ab:

- Größe, Orientierung und Ausrichtung der PV-Anlage
- Effizienz der technischen Anlagen (z.B. Geräte, Beleuchtung, Pumpen)
- Vorhandensein einer Lüftungsanlage und deren Stromeffizienz und Betriebsweise
- Speichermöglichkeit des PV-Stroms (z.B. Batteriesystem)
- Nutzerverhalten und Belegung

Bei einer stromgestützten Wärmeversorgung (z.B. Wärmepumpe) kommen folgende Punkte hinzu:

- Wärmebedarf des Gebäudes inkl. Verteilverluste
- Temperaturniveau des Wärmeübergabesystems
- Effizienz und Betriebsweise der Wärmeerzeugung
- Wärmequelle und deren Erschließung
- Belegung und daraus resultierender Warmwasserbedarf
- Vorhandensein einer thermischen Solaranlage

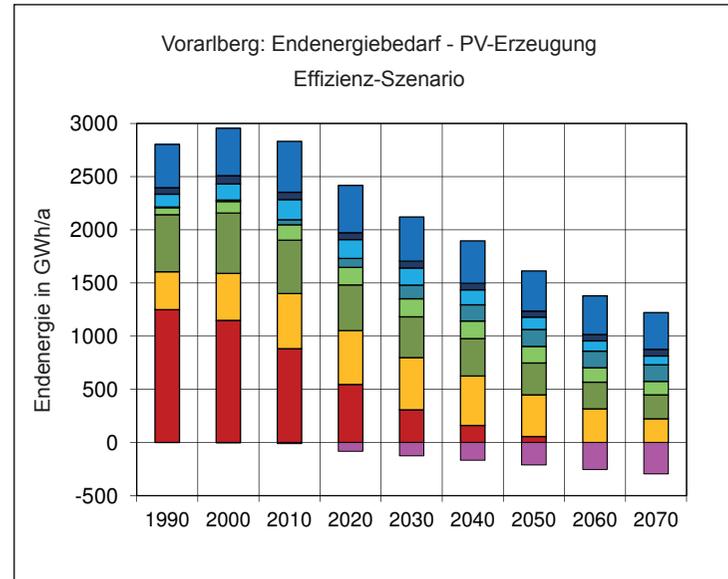
Zur Abschätzung belastbarer Mittelwerte wurden im Rahmen dieser Studie die Eigennutzungsgrade einiger Gebäudevari-

anten in verschiedenen Energieniveaus mit und ohne Wärmepumpenheizung bestimmt.

In den Abbildungen 6.14 und 6.15 wird auf der Basis des Ausbaupfades der Energieautonomie abgeschätzt, in welchem Umfang der an den Gebäuden erzeugte PV-Strom zur Energieversorgung der Wohnbauten beitragen kann. Die PV-Erzeugung inklusive Netzeinspeisung wird in den Grafiken in Form negativer Werte dargestellt, der eigengenutzte Anteil als rote Linie. Wie zu erkennen kann durch die Nutzung des an den Gebäuden erzeugten PV-Stroms selbst im Effizienz-Plus-Szenario nur ein relativ geringer Anteil des Gesamt-Strombedarfs gedeckt werden.

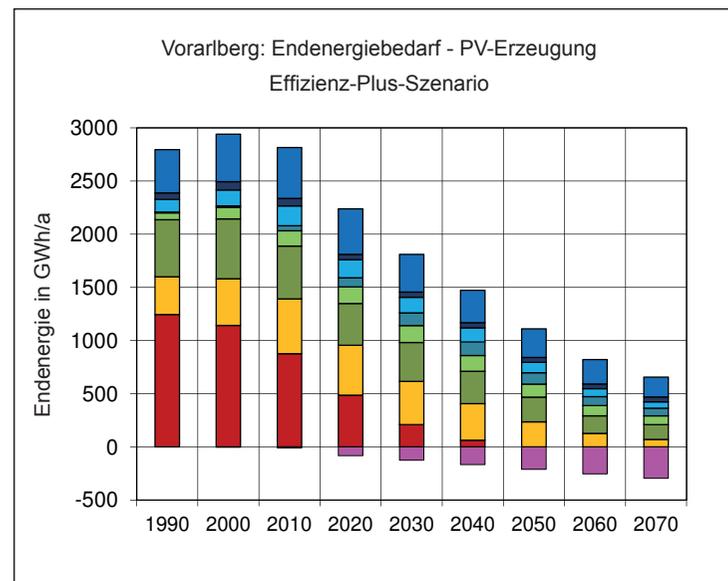
In den Abbildungen 6.16 und 6.17 ist die gesamte PV-Erzeugung (Säulenanteil im negativen Bereich) dem gesamten Energiebedarf aller Energieträger gegenübergestellt. In dieser Gegenüberstellung wird klar, dass die PV-Erzeugung deutlich geringer ausfällt, als der Gesamt-Endenergiebedarf in den beiden Effizienz-Szenarien. Im Effizienz-Szenario beträgt im Jahr 2030 die gesamte PV-Produktion ca. 16 % des Strombedarfs und 6 % des gesamten Endenergiebedarfs der privaten Haushalte. Diese Werte steigen bis 2050 auf 30% bzw. 13 % an. Im Effizienz-Plus-Szenario können bis 2030 bereits 31% des Strombedarfs und knapp 12 % des gesamten Endenergiebedarfs der privaten Haushalte durch PV-Strom abgedeckt werden. Bis 2050 erhöhen sich diese Werte auf 40% bzw. 19%.

Der Absolutwert des eigengenutzten Anteils des auf den Gebäuden selbsterzeugten Solarstroms unterscheidet sich zwischen den beiden Effizienzzenarien kaum (Abb. 6.14 und 6.15). Weil sich aber zusätzlich der Strombedarf zwischen beiden Szenarien deutlich unterscheidet, kann damit gegenüber der Entwicklung im Effizienz-Szenario der Netzbezug im Effizienz-Plus-Szenario bis 2050 um ca. 30 % und bis 2070 um ca. 50 % reduziert werden. Dies verdeutlicht nochmals die Bedeutung der Stromeffizienz für eine erneuerbare Stromversorgung.



- Haushaltsstrom
- Hilfsstrom
- Strom-direkt
- Strom - Wärmepumpen
- Fern-/Nahwärme
- Biomasse
- Erdgas
- Heizöl
- PV-Erzeugung

Abb. 6.16
Vergleich zwischen Endenergiebedarf im Effizienz-Szenario und der PV-Stromerzeugung gemäß den Zielen der Energieautonomie Vorarlberg. Angabe in GWh/a.



- Haushaltsstrom
- Hilfsstrom
- Strom-direkt
- Strom - Wärmepumpen
- Fern-/Nahwärme
- Biomasse
- Erdgas
- Heizöl
- PV-Erzeugung

Abb. 6.17
Vergleich zwischen Endenergiebedarf im Effizienz-Plus-Szenario und der PV-Stromerzeugung gemäß den Zielen der Energieautonomie Vorarlberg. Angabe in GWh/a.

7 Entwicklung Primärenergiebedarf 2010 - 2070

Am Primärenergiebedarf werden die gesamten Energieaufwendungen inklusive der vor- und nachgelagerten Energieketten (z.B. Exploration, Förderung, Transporte, Aufbereitung, Herstellung Kraftwerkpark bzw. Heizzentralen und Entsorgung) zusammengeführt. Erst dann ergibt sich ein zuverlässiger Maßstab für den energetischen Aufwand und seine Verbesserungen im Gesamtprozess hinsichtlich der Energieeffizienz, der Reduzierung der Umweltbelastungen (die allerdings je Energieträger unterschiedlich zu bewerten sind) oder der Umsetzung des Konzeptes der Energieautonomie.

In Abb. 7.1 ist die gesamte Primärenergie (fossiler, nuklearer und erneuerbarer Anteil) zusammengeführt und für die vier Hauptszenarien im Zeitverlauf dargestellt. Im Status-quo-Szenario findet keine Effizienzverbesserung statt, die Werte steigen

in den Jahren 1990 bis 2050 von 3780 auf 4160 GWh/a an. Dass sie nicht noch weiter ansteigen liegt an den indirekten Effizienzverbesserungen durch Abgang und Ersatz durch deutlich effizientere Neubauten; ähnliches findet im Bereich der Warmwasser- und Stromanwendungen statt. Im Business-as-usual-Szenario bleibt ein durchgreifender Effizienzerfolg ebenfalls aus. Die Werte sinken bis 2050 nur gering auf etwa 3000 GWh/a ab, was einer Reduktion von 20 % entspricht. Das EU Ziel (-27% bis 2030 ausgehend vom Wert 2005, der für die privaten Haushalte Vorarlbergs 3965 GWh/a betrug) wird hier mit 3280 GWh/a (-17 %) deutlich verfehlt. Nach 2050 verbleibt darüber hinaus der Primärenergiebedarf auf diesem hohen Niveau. Im Effizienz-Szenario wird bereits eine deutliche Minderung erzielt. Diese liegt 2030 mit 2690 GWh/a (-32 %) ziemlich genau im Rahmen der EU-Beschlüsse. Auch danach sinken die Werte weiter ab. Die Reduktion beträgt 2050 mit etwa 2090 GWh/a dann -47 % und 2070 mit 1660 GWh/a sogar -58 %. Noch deutlicher fällt die Primärenergiereduktion im Effizienz-Plus-Szenario aus. Hier liegen die Werte mit 2200 GWh/a im Jahr 2030 (-45 %) und 1230 GWh/a im Jahr 2050 (-69%) sowie 690 GWh/a im Jahr 2070 (-83%) nochmals sehr viel niedriger. Eigentlich lässt sich nur im Effizienz-Plus-Szenario von einer wirklich erfolgreichen Effizienzstrategie sprechen. Sie hat zudem den Vorteil, dass die Idee der Energieautonomie hier durch einen hohen Anteil heimischer Energieträger recht weitgehend umgesetzt werden kann.

Betrachtet man in Abb. 7.2 die Pro-Kopf-Werte für die gesamte Primärenergie, wird hier im Vergleich zur Abb. 7.1 der Einfluss des Bevölkerungszuwachses indirekt sichtbar. Hier sinken in allen Szenarien die Werte stetig ab, jedoch in stark unterschiedlicher Ausprägung. Interessant ist in diesem Zusammenhang der Bezug zu den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft, einem

- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

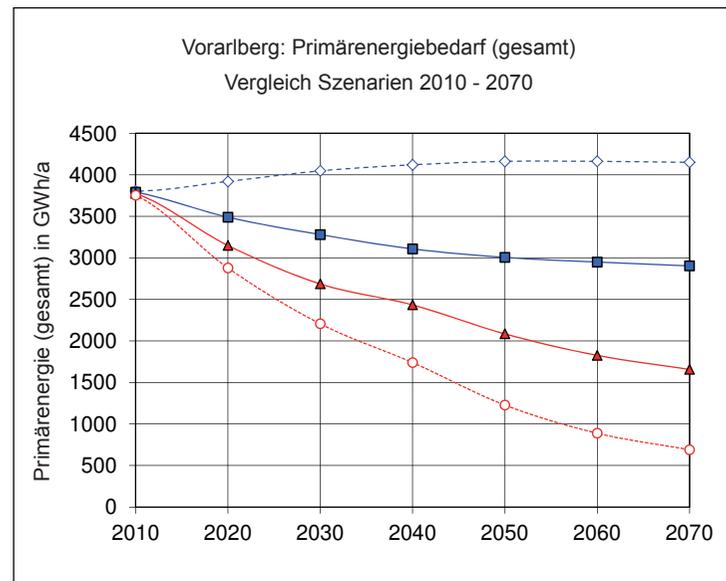


Abb. 7.1
Entwicklung des jährlichen Primärenergiebedarfs aller Wohngebäude Vorarlbergs 2010 - 2070. Angabe in GWh/a

gut etablierten Effizienzkonzept aus der Schweiz. Ordnet man aus Gründen der Vereinfachung den privaten Haushalten ein Viertel, d.h. 500 Watt als weltweit verträgliche Dauerleistung pro Person zu, ergibt sich ein Zielwert von 4380 kWh/(Pa). Dieser ist als rote Linie in Abb. 7.2 eingetragen. Er wird im Effizienz-Szenario ziemlich exakt im Jahr 2050 erreicht. Im Effizienz-Plus-Szenario kann dieses Ziel bereits im Jahr 2036 eingehalten werden. Im Business-as-usual-Szenario liegt dieses Ziel, wenn es überhaupt jemals erreicht werden kann, in zeitlich weiter Ferne.

In Abb. 7.3 ist schließlich der Primärenergiebedarf differenziert nach den einzelnen Energieträgern für das Ausgangsjahr 2010 und als Vergleich zwischen den Szenarien für 2030 sowie 2050 dargestellt. Im Vergleich zur Darstellung der Endenergie (siehe Abb. 6.4) wird hier der spürbar höhere Primärenergieeinsatz für die Stromerzeugung sichtbar. Daran wird indirekt sichtbar, dass Wärme und Strom unterschiedliche energetische Wertigkeiten aufweisen. Dieser Effekt wird jedoch im Betrachtungszeitraum immer geringer, weil der Anteil der nicht brennstoffgestützten erneuerbaren Energieträger, wie Wasser- und Windkraft oder Photovoltaik immer mehr zunimmt. Weil diese gemäß der 100%-Methode ohne Wirkungsgradverluste gerechnet werden, sinkt entsprechend der Primärenergiebedarf auch aufgrund dieser definitorischen Festlegung ab.

Gerade in den Effizienzszenarios nähern sich Brennstoff- und Stromeinsatz immer stärker an. Daran wird die grundsätzliche Tendenz sichtbar, dass eine erneuerbare Energieversorgung viel weniger auf Brennstoffe gestützt ist, als die heutige. Das gilt sowohl für die Wärme- als auch die klassischen Stromanwendungen. Dabei ist zu beachten, dass im Bereich der Mobilität neue Stromanwendungen durch Elektromobilität hinzukommen werden, die in der Summe dazu führen können, dass trotz Effizienzverbesserungen in allen Sektoren, am Ende der gesamte Strombedarf langfristig wieder ansteigt. Diese Sektorenkopplung wird in dieser Studie jedoch nicht näher behandelt.

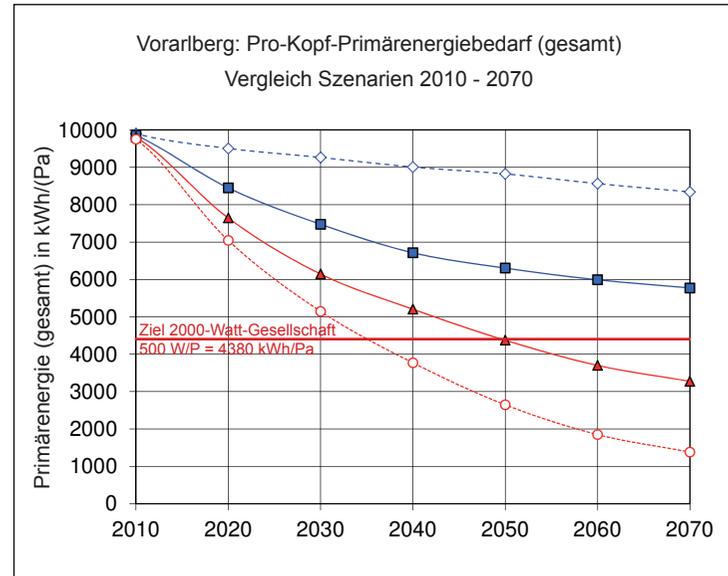


Abbildung 7.2 Entwicklung des Pro-Kopf-Primärenergiebedarfs in kWh/(Pa) in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 2010 - 2070. Zum besseren Vergleich ist das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft für die privaten Haushalte (500 W/(Pa) bzw. 4380 kWh/(Pa) als rote Linie eingetragen. Dieses Ziel wird nur in den Effizienzszenarios erreicht.

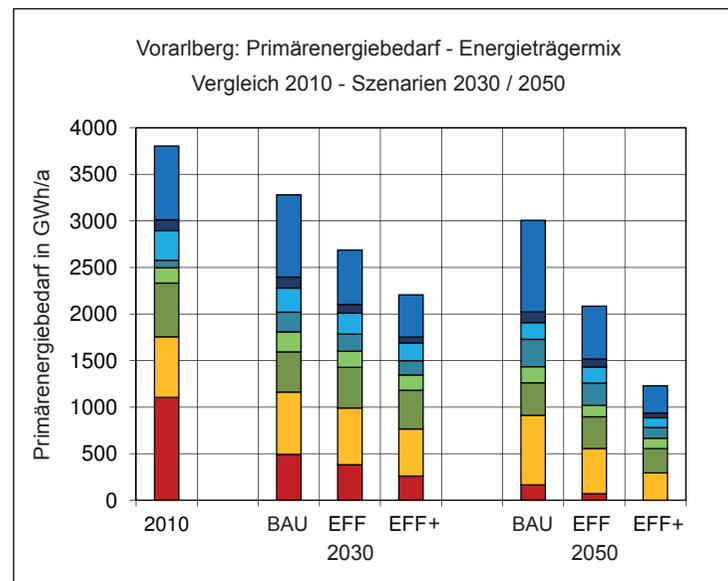


Abbildung 7.3 Entwicklung des Primärenergiebedarfs in GWh/a, differenziert nach Energieträgern in den Wohngebäuden. Vergleich der Werte 2010 mit denen der Jahre 2030 und 2050 im Business-as-usual- (BAU), im Effizienz- (EFF) und im Effizienz-Plus-Szenario (EFF+).

8 Entwicklung Treibhausgasemissionen 2010 - 2070

Der Klimaschutz stellt im Hinblick auf die Energiesysteme derzeit das gravierendste und drängendste Nachhaltigkeitsproblem dar und nicht die Ressourcenfrage. Von daher stellt die Reduzierung der Treibhausgasemissionen eine Schlüsselfrage der Energieautonomie Vorarlbergs dar. Für die Auswertung sind zusätzlich die Zielsetzungen der EU (Reduktion der Emissionen im Jahr 2030 um mindestens 40 % gegenüber dem Stand 1990) bzw. Österreichs (Reduktion der Emissionen bis 2030 um 36% gegenüber dem Stand von 2005) und der Pariser Klimakonferenz (Einhaltung des 2-Grad Ziels, besser des 1,5 Grad Ziels) zu beachten. Leider ist die Zuordnung dieser Ziele zu bestimmten Sektoren oder Energiedienstleistungen nicht immer einfach. In dieser Untersuchung wird daher Bezug genommen zu einer Studie, die anhand eines Vergleichs verschiedener Gerechtigkeitsgrundsätze zulässige

Pro-Kopf-Emissionen für das Jahr 2050 in Form von sog. „Zielfeldern“ bestimmt hat (Kern 2016). Grundlage bildet das gerade noch zulässigen Globalbudget von Treibhausgasemissionen im Zeitraum bis 2050, die mit dem 2-Grad-Ziel vereinbar sind. Das Zielfeld für die privaten Haushalte beträgt in allen mitteleuropäischen Staaten 100 – 500 kg/(Pa) CO₂-Äquivalente, und muss im Zeitraum 2045 – 2055 erreicht werden. Die Güte eines Klimaschutzkonzeptes bestimmt sich darüber, ob bzw. in welchem Bereich die Entwicklung der Pro-Kopf-Emissionen eines Minderungspfades in das Zielfeld „eintaucht“. Damit können unterschiedliche Konzepte und Maßnahmenbündel auf einfache und zugleich nachvollziehbare Art im Hinblick auf den Klimaschutz beurteilt werden.

In Abb. 8.1 sind zunächst die gesamten CO₂-Äquivalent-Emissionen über den Zeitraum 1990-2070 für die vier Hauptszenarien aufgetragen. Die Verläufe ähneln sehr denen für die gesamte Primärenergie. Im Status-quo-Szenario wird keine Minderung der Treibhausgasemissionen erreicht, diese liegen auch 2050 in etwa auf dem Niveau von 1990. Im Business-as-usual-Szenario sinken die Emissionen bis 2030 auf 400 kt/a ab, was einer Reduktion um 38 % gegenüber dem Stand von 1990 bzw. um 34 % gegenüber dem Stand von 2005 entspricht. Im Jahr 2050 liegt dieser Wert bei 340 Kt/a und weist damit eine Reduktion um 48 % bzw. 45% auf. Im Effizienz-Szenario sinken die Treibhausgasemissionen viel deutlicher ab. Im Jahr 2030 betragen sie 310 kt/a (Reduktion um 52 % bzw. 49 %) und im Jahr 2050 nur noch ca. 200 kt/a (Reduktion um 69 % bzw. 67 %). Im Effizienz-Plus-Szenario wird schließlich ein durchgreifendes Klimaschutzkonzept verwirklicht. Bereits im Jahr 2030 betragen die CO₂-Äquivalent-Emissionen nur noch ca. 210 kt/a (Reduktion um 62 % bzw. 65 %) und sinken danach bis 2050 weiter auf etwa 80 kt/a (Reduktion um 88 % bzw. 87 %).

- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

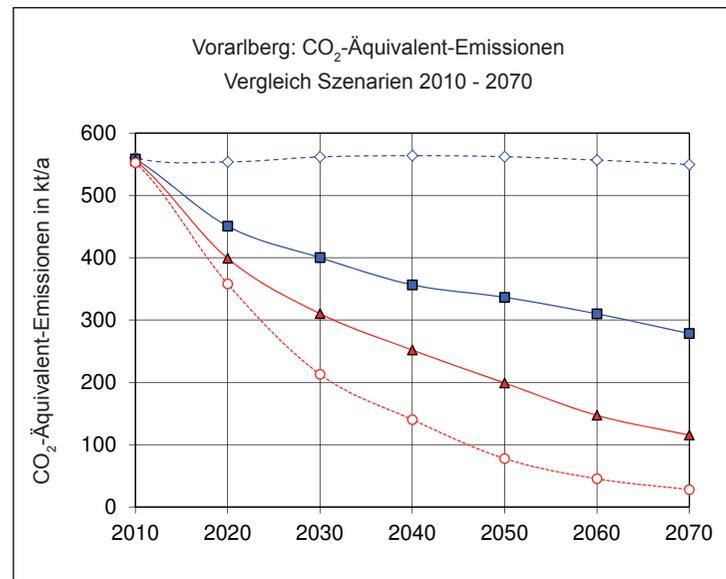
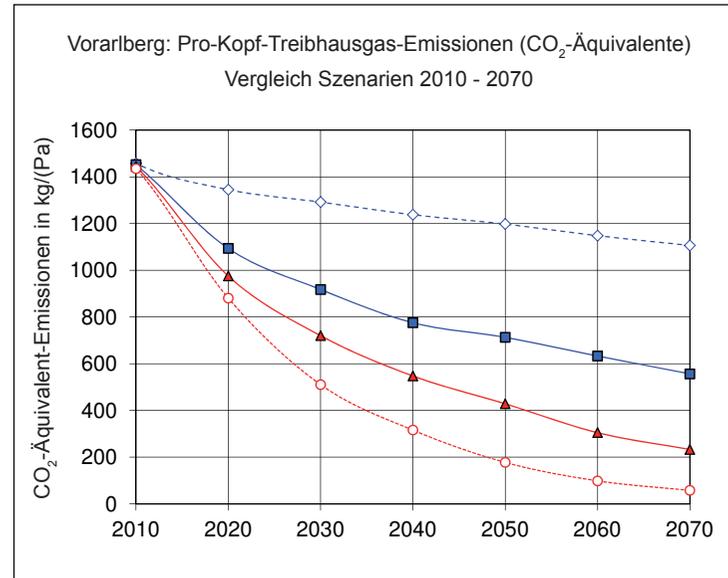


Abbildung 8.1
Entwicklung der Treibhausgasemissionen in kt/a CO₂-Äquivalenten in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 2010 - 2070.

Im Hinblick auf die Pro-Kopf-Treibhausgas-Emissionen zeigt sich zwar in allen Szenarien eine Minderung (Abb. 8.2), im Status-quo-Szenario fällt diese jedoch nur sehr gering aus und bleibt auch im Business-as-usual-Szenario weit vom genannten Klimaschutzziel entfernt. Erst im Effizienz-Szenario wird 2050 mit 430 kg/(Pa) ein Wert erreicht, der gerade noch mit dem 2-Grad-Ziel kompatibel ist. Im Effizienz-Plus-Szenario wird mit dann nur noch 180 kg/(Pa) ein Wert erreicht, der nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft in guter Übereinstimmung mit dem 2-Grad-Ziel steht.

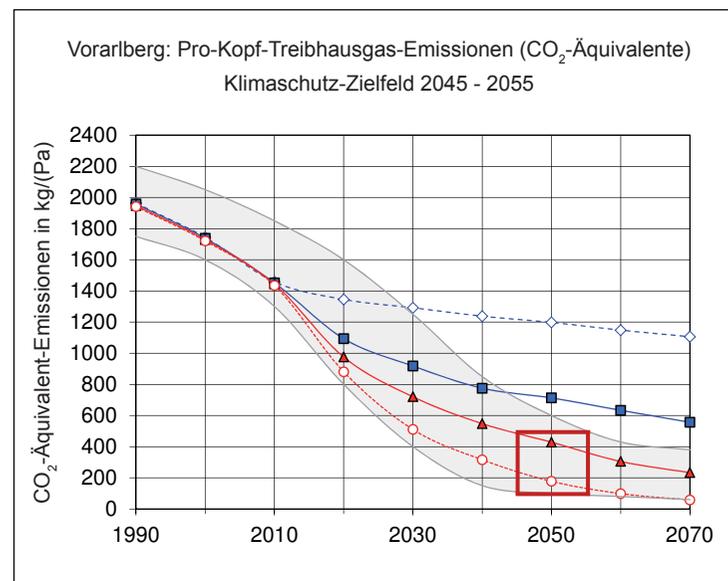
Die hier vorgenommene Beurteilung wird dann besser nachvollziehbar, wenn man die kombinierte Darstellungsform eines Klimaschutzkorridors mit Zielfeld (Kern 2016) wählt, wie dies in Abb. 8.3 der Fall ist. Als Bezugsjahr ist das Jahr 1990, in dem die Rio-Konferenz stattgefunden hat, gewählt, weil sich die globalen und nationalen Klimaschutzpfade bzw. Minderungsziele in der Regel darauf beziehen. Nun ist klar zu erkennen, dass das Status-quo-Szenario bereits 2030 und das Business-as-usual-Szenario etwa 2040 aus dem grau markierten Klimaschutzkorridor austreten. Nur die beiden Effizienz-szenarien bleiben im Korridor und können daher auch als Klimaschutz-szenarien bezeichnet werden. Während das Effizienz-Szenario jedoch nur knapp in das Zielfeld eintaucht (und damit gerade noch mit dem 2-Grad-Ziel in Übereinstimmung gebracht werden kann), kommt das Effizienz-Plus-Szenario im unteren Bereich des Zielfeldes zu liegen. Es kann von daher als vollwertiges Klimaschutz-szenario eingestuft werden.

In Abb. 8.4.a-d werden für alle vier Szenarien die Treibhausgasemissionen getrennt für die Energieträger ausgewiesen. Es ist besonders aufschlussreich zu sehen, wie sich hier, vor allem unter den gewählten Randbedingungen in den beiden Effizienz-szenarien, die Effizienzstrategie und der daran gekoppelten Ausbau der erneuerbaren Energiesysteme gegenseitig stützen und erst in Kombination zu einer deutlichen Reduktion der energiebedingten Klimagasemissionen führen.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 8.2 Entwicklung der Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen in kg/(Pa) CO₂-Äquivalenten in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 2010 - 2070.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus
- Klimaschutz-Korridor
- Klimaschutz-Zielfeld

Abb. 8.3 Entwicklung der Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen in kg/(Pa) CO₂-Äquivalenten in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 1990 - 2070 und deren Bezug zum sog. Klimaschutz-Zielfeld 2045 - 2055, wie in (Kern 2016) entwickelt. Nur die Effizienz-szenarien stehen in Übereinstimmung mit dem 2-Grad-Ziel der Pariser Klimakonferenz.

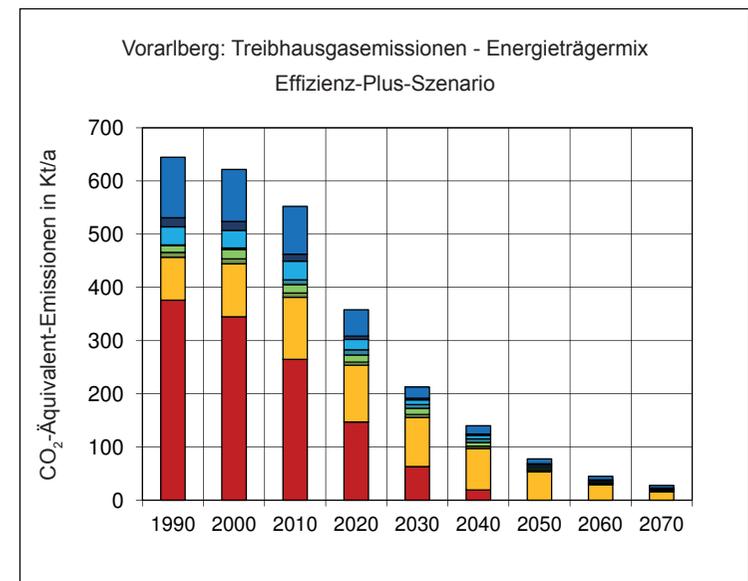
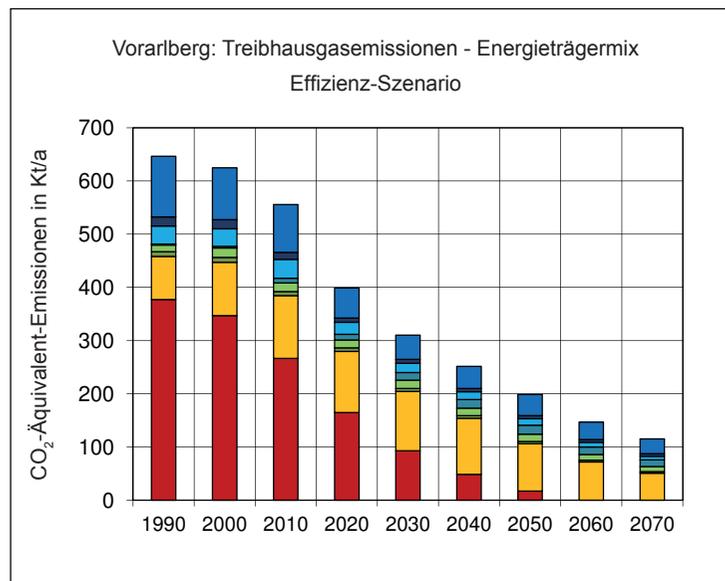
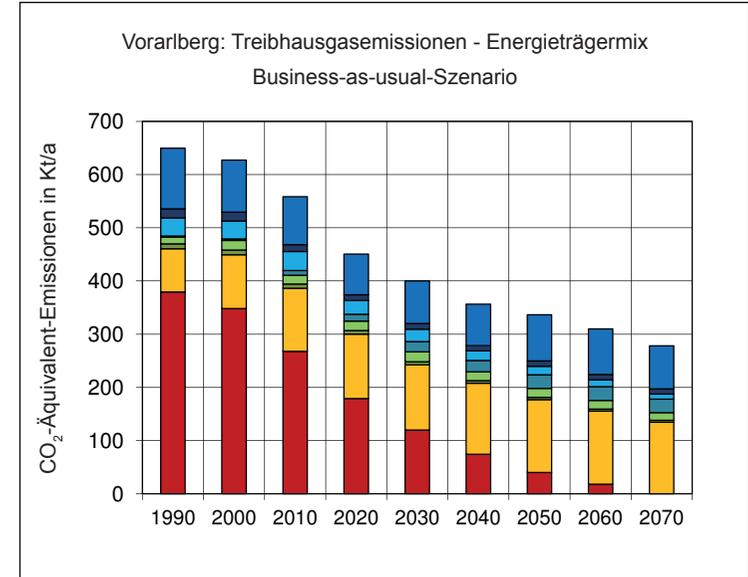
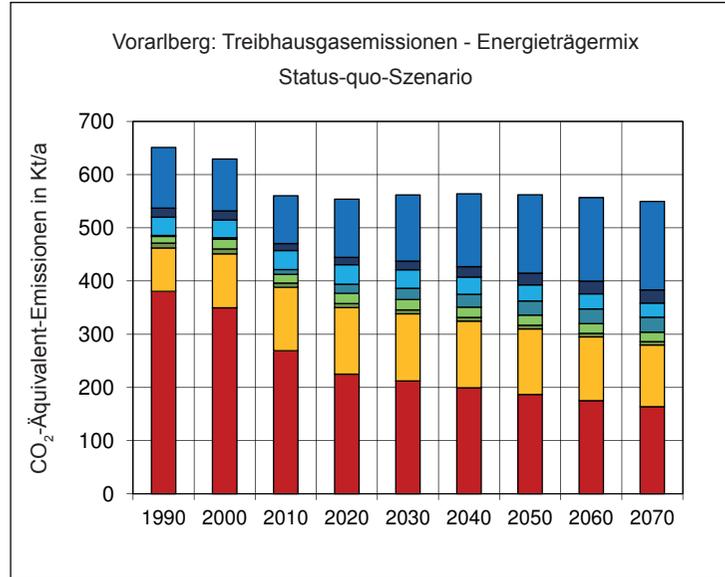


Abbildung 8.4 a - d
Entwicklung des Primärenergiebedarfs in GWh/a, differenziert nach den Energieträgern der Versorgungssysteme im Zeitraum 1990 - 2070 für alle vier Hauptszenarien:
a Status-quo-Szenario (links, oben)
b Business-as-usual-Szenario (rechts, oben)
c Effizienz-Szenario (links, unten)
d Effizienz-Plus-Szenario (rechts, unten).
Die Szenarien unterscheiden sich u.a. im Hinblick auf die Zeitpunkte des Ausstiegs aus den fossilen Heizsystemen, speziell Heizöl.

Im Effizienz-Plus-Szenario können bis 2070 die Treibhausgasemissionen bis auf einen nahezu vernachlässigbaren Restbetrag fast gänzlich zurückgefahren werden. Hier spielt dann auch das Thema der Stromeffizienz und die weitgehend erneuerbare Stromerzeugung eine große Rolle.

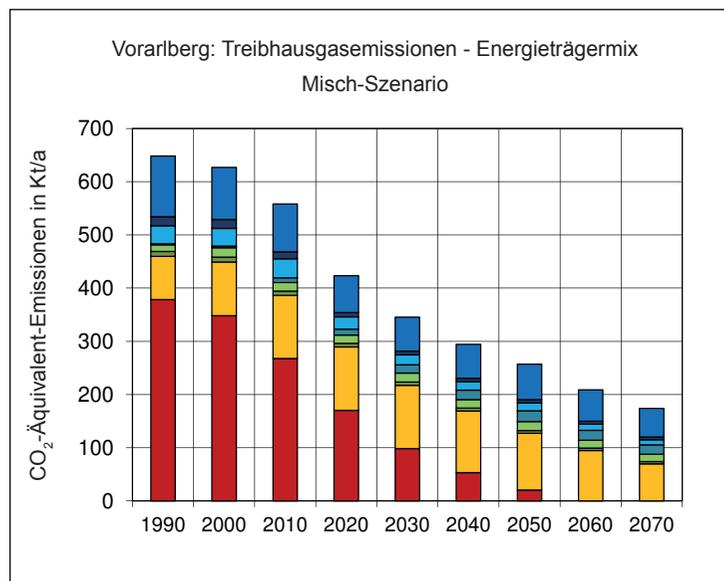
Im Gegenzug wird deutlich, dass die fehlenden Effizienzerfolge im Business-as-usual-Szenario dazu führen, dass insbesondere Erdgas als fossiler Energieträger zur Wärmeversorgung im System verbleibt. Zugleich führt die fehlende Stromeffizienz in den Haushalten und die auch nach 2030 noch immer vorhandene fossile Stromerzeugung dazu, dass mittel- und langfristig ein substantielles Absinken der Treibhausgasemissionen verhindert wird.

Für die Klimaschutzstrategie ist von daher der Ausstieg aus der fossilen Strom- und Wärmeerzeugung in Kombination mit den Effizienzsteigerungen der Gebäude und ihrer Stromanwendungen der Schlüssel zum Erfolg.

Misch-Szenario

Im Hinblick auf Klimaschutzstrategien ist häufig eine Haltung verbreitet, die die wirksamen Maßnahmen nicht als UND- sondern als ODER-Verkäufungen interpretiert. Gemäß dieser Vorstellung kann ein wirksamer Klimaschutz sich entweder auf die gebäudebezogenen oder auf die versorgungsseitigen Maßnahmen stützen. Dies kann entweder generell oder von Fall zu Fall gelten. Oftmals wird auch versucht, bestimmte Einzelmaßnahmen, z.B. einen fehlenden Wärmeschutz an Gebäudefassaden durch den Einsatz der Kraft-Wärmekopplung oder den Einsatz erneuerbarer Energien auszugleichen.

In einem speziellen Misch-Szenario wurde daher zusätzlich untersucht, wie sich der Endenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen entwickeln würden, wenn man die Gebäudequalität (Hülle, Lüftungskonzepte, Warmwasser- und Strom-Nutzenergiebedarf) wie im Business-as-usual-Szenario, die Ver-



- Haushaltsstrom
- Hilfsstrom
- Strom-direkt
- Strom - Wärmepumpen
- Fern-/Nahwärme
- Biomasse
- Erdgas
- Heizöl

Abbildung 8.5
Entwicklung der Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalent-Emissionen) in kt/a, differenziert nach Energieträgern in den Wohngebäuden für das sog. Misch-Szenario. In diesem werden die Gebäude mit deren energetischen Eigenschaften wie im Business-as-usual-Szenario, die Versorgungssysteme jedoch wie im Effizienz-Szenario modelliert.

sorgungsstruktur (Strom- und Wärmeversorgung) jedoch wie im Effizienz-Szenario modellieren würde (Abb. 8.5).

Die resultierenden Treibhausgasemissionen im Misch-Szenario liegen mit ca. 350 Kt/a im Jahr 2030 und 260 kt/a im Jahr 2050 ungefähr in der Mitte zwischen den Werten im Business-as-usual-Szenario (Abb. 8.4.b) und denen im Effizienz-Szenario (vgl. Abb. 8.4.c). Als personenbezogener Kennwert im Jahr 2050 ergeben sich ca. 550 kg/(Pa), womit das Zielfeld verfehlt wird. Die Erklärung hierfür liegt vor allem in den hohen Nutzenergie-Bedarfswerten im Business-as-usual-Szenario, die durch eine effizientere bzw. stärker auf erneuerbare Energieträger gestützte Versorgungstechnik nicht ausgeglichen werden können.

Als Fazit aus der Analyse der Ergebnisse des Misch-Szenarios lässt sich formulieren: Es kommt somit darauf an, die wirksamen Klimaschutzstrategien nicht gegeneinander auszuspielen, sondern sie sinnvoll miteinander zu kombinieren.

9 Strategische Fragen und Analysen

Zum Schluss sollen die Ergebnisse aus einer übergeordneten Sicht bewertet werden.

Überbrückung der Winterlücke

Sofern die Ziele der Energieautonomie verwirklicht werden, wird das künftige Energiesystem Vorarlbergs eine gänzlich andere Struktur aufweisen als heute. Eine erneuerbare Stromversorgung wird in Nord- und Mitteleuropa im Sommer tendenziell Überschüsse produzieren, während im Winter eine Energielücke existiert, die mit speicherbaren erneuerbaren oder mit fossilen Energieträgern geschlossen werden muss (Abb. 9.1). Um die sog. Winterlücke möglichst klein zu halten, ist es notwendig, dass die Gebäude speziell im Kernwinter wenig Energie benötigen. Das ist nur mit einer konsequenten Effizienzstrategie

möglich, die alle Strom- und Wärmeanwendungen umfasst. Wenn noch zusätzliche Stromverbraucher hinzukommen (z.B. Elektromobilität) wird die Frage der Stabilität der Stromversorgung noch anspruchsvoller. Von daher stellt sich die Frage, wie die erneuerbare Energieversorgung und -erzeugung künftig stärker sektorenübergreifend organisiert werden kann und welche Rolle hier Speicher auf verschiedenen Zeitebenen (Kurzzeit, Langzeit) spielen werden. Die Energiesysteme in den Wohngebäuden können dazu einen gewissen, jedoch nicht den entscheidenden Beitrag leisten (siehe Untersuchung zu den PV-Erzeugungspotenzialen in Abschnitt 6, S. 89 f.).

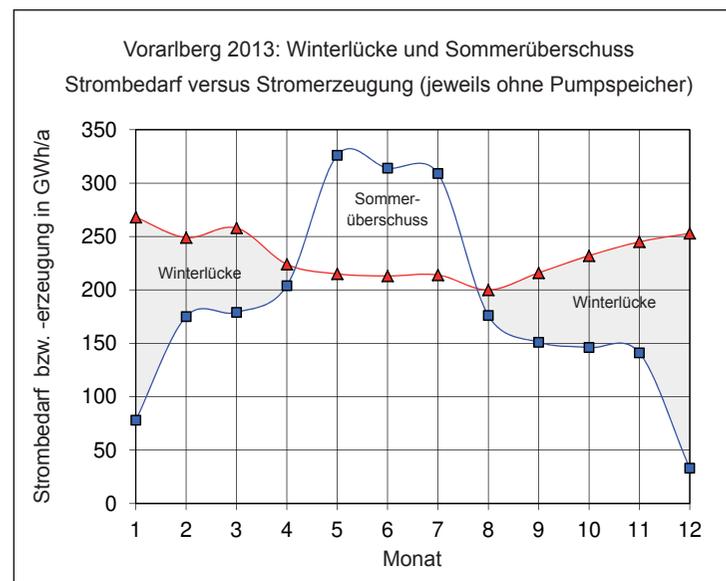
Effizienzfaktoren

Der Erfolg der Effizienzstrategien in den Wohngebäuden lassen sich übersichtlich über sog. Effizienzfaktoren abbilden. Dabei wird das Status-quo-Szenario als Bezugsgröße mit einem durchgängig vorgegebenen Faktor 1,0 gewählt. Es beruht auf der fiktiven Annahme, dass die Qualität der energetisch relevanten Bau- und Technikkomponenten nach 2010 konstant gehalten wird. Man kann sich das so vorstellen, dass bei Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten das jeweils vorhandene System zwar ausgewechselt wird, jedoch in seinen energetischen Eigenschaften unverändert bleibt. Im Vergleich zu diesem Szenario können nun die Effizienzfortschritte in den anderen Szenarien sehr einfach ermittelt werden. Für diesen Vergleich wurde die gesamte Primärenergie gewählt, weil sie als Indikator für den Einsatz energetischer Ressourcen steht.

In Abb. 9.2 wird erkennbar, dass im Business-as-usual-Szenario die Effizienzverbesserungen nur mäßig ausfallen. Im Jahr 2050 lässt sich unter seinen Randbedingungen gerade einmal ein Faktor von 1,4 realisieren. Im Effizienz-Szenario liegt der Effizienzfaktor im Jahr 2050 bereits bei 2,0 und im Effizienz-

- Stromerzeugung
- ▲ Strombedarf

Abb. 9.1
Gegenüberstellung von Stromerzeugung und Strombedarf in Vorarlberg im Jahr 2013. Die Werte verstehen sich ohne die Anteile der Pumpspeicherwerke. Während im Sommer ein Überschuss produziert werden kann, der ins Ausland verkauft wird, liegt in den anderen Jahreszeiten ein Fehlbedarf in Form einer deutlich ausgeprägten Winterlücke vor (grau schaffiert), die durch Importe aus dem Ausland gedeckt werden muss.
Quelle: (Energiebericht 2014)



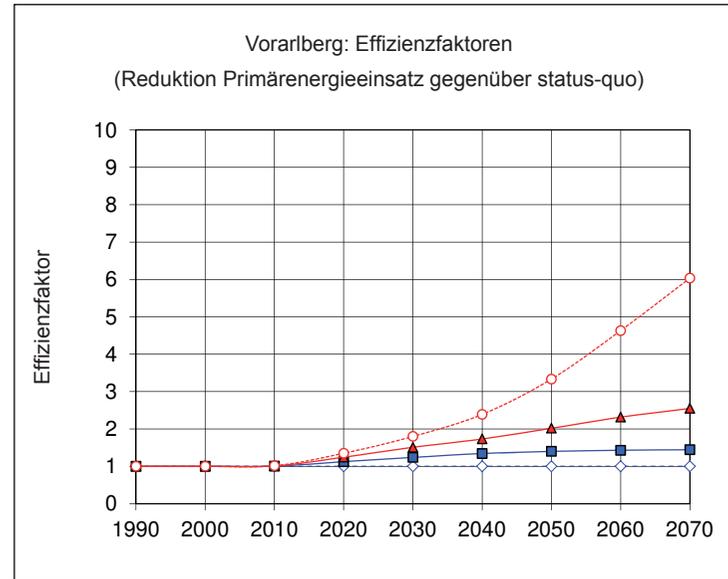
Plus-Szenario sogar bei 3,3 und steigt dort bis 2070 sogar auf über 6,0 an. Hier wird deutlich, dass eine längerfristige Effizienzstrategie auf jeden Fall die künftigen wirtschaftlich interessanten Technologieverbesserungen miteinbeziehen sollte. Von daher wird hier vorgeschlagen, spätestens im Jahr 2030 die Zielvorgaben des Effizienz-Plus-Szenarios umzusetzen.

Dekarbonisierungsfaktoren

Noch deutlicher fallen die Unterschiede aus, wenn man die Minderungserfolge bei den Treibhausgasemissionen betrachtet. Diese lassen sich, bei einer analogen Systematik, wie bei den Effizienzfaktoren, als sog. Dekarbonisierungsfaktoren darstellen. Dieser Faktor gibt an, in welchem Ausmaß die CO₂-Äquivalent-Emissionen in den Szenarien im Vergleich zu einer Status-quo-Entwicklung abgesenkt werden konnten (**Anm. 1**).

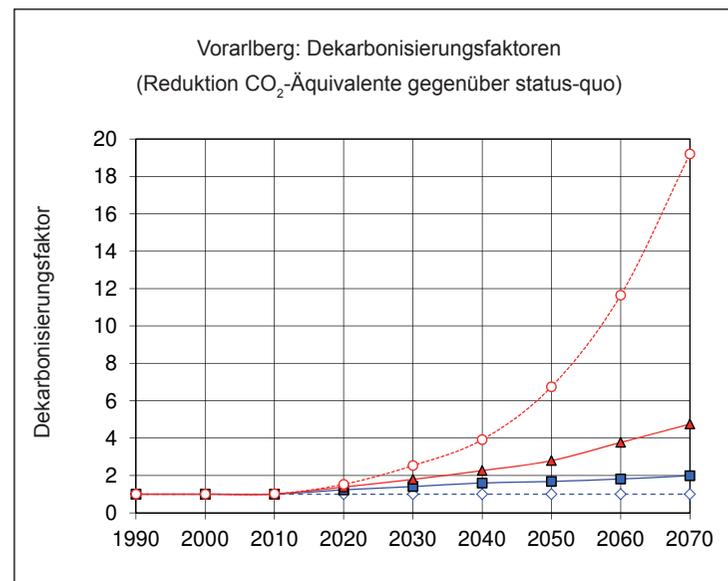
Im Business-as-usual-Szenario können bis ins Jahr 2050 die Treibhausgasemissionen nur um einen Faktor von 1,7 reduziert werden. Damit kann hier nicht von einem Klimaschutzpfad gesprochen werden. Im Effizienz-Szenario wird 2050 ein Dekarbonisierungsfaktor von 2,8 und 2070 von 4,8 erreicht. Das Effizienz-Plus-Szenario steht für eine Entwicklung, in dem die Treibhausgasemissionen bis 2050 um einen Faktor 6,8 und bis 2070 um fast einen Faktor 20 reduziert werden können. Damit hat man das Nullemissionsziel fast erreicht. Die verbleibenden minimalen CO₂-Äquivalent-Emissionen sind dann vernachlässigbar gering.

Hier wird nochmals deutlich, dass das Effizienz-Szenario Übergangsweise bis etwa 2030 verfolgt werden kann, es jedoch danach geboten erscheint, die nochmals verbesserten energetischen Qualitäten, wie sie im Effizienz-Plus-Szenario beschrieben sind, als neuen Standard festzulegen. Dann tritt, das zeigen die Dekarbonisierungsfaktoren auf, ein selbstverstärkender Effekt ein, der durch den somit möglichen Ausstieg aus den fossilen Energiesystemen, den Weg hin zu einer Energieversorgung ohne Klimagasemissionen eröffnet.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abbildung 9.2
Darstellung der primärenergetischen Effizienzverbesserungen in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 2010 - 2070 in Form von sog. Effizienzfaktoren.



- ◇- Status quo
- Business-as-usual
- ▲- Effizienz
- Effizienz-Plus

Abb. 9.3
Reduzierungserfolge bei den Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) in den vier Hauptszenarien im Zeitraum 1990 - 2070. Darstellung in Form der sog. Dekarbonisierungsfaktoren.

10 Anmerkungen

Anmerkung zu Teil 1: Einführung und zentrale Ergebnisse

(1) Inzwischen haben die USA angekündigt, aus dem Pariser Klimaabkommen aussteigen zu wollen (frühestens 2020 möglich), während neue Staaten dem Abkommen beigetreten sind.

Anmerkungen zu Teil 2: Vorarlberg - Energieperspektiven

(1) Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich die Bestimmung der Anforderungen des Klimaschutzstandards auf Deutschland und nicht auf Vorarlberg beziehen. beispielsweise sind die Konversionsfaktoren in (Vallentin 2011) anders bestimmt als in dieser Studie. Insgesamt ist das Anforderungsniveau vergleichbar, so dass sich die genannten Werte in Tabelle 2.2 und 2.3 als Orientierungswerte für den Wohngebäudepark Vorarlbergs eignen.

Anmerkungen zu Teil 3: Ausgangssituation und -zustand

(1) Das hier aufgezeigte Problem geht noch tiefer, weil auch die heutige Förderpraxis zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebestand auf diesen fragwürdigen Rechenansätzen beruht.

(2) Der Grund hierfür liegt sehr wahrscheinlich im geringeren Außenluftwechsel der Wohngebäude begründet. Im Kohortenmodell wurde hierfür ein Wert von $0,30 \text{ h}^{-1}$ gewählt, der eine noch gute Innenluftqualität sicherstellt. In der Realität liegen die Außenluftwechsel häufig darunter. Zusätzlich könnten auch zusätzliche wärmebedarfsmindernde Effekte wie z.B. Dämmtapeten, Vorhänge und Möbel an den Außenfassaden eine Rolle spielen. Diese wurden aber – weil hoch spekulativ – nicht in der Modellbildung berücksichtigt.

Anmerkungen zu Teil 4: Szenarien und Modellbildung

(1) Für den Neubau 2015 können die Daten aus der Energieausweiszentrale herangezogen werden, wobei diese nicht aufgegliedert in EFH und MFH vorliegen. Es wird angenommen, dass sich vor allem in den Jahren 2008-2013 die Lüftungsanlagen mit WRG mehrheitlich auf die MFH verteilen, da in diesem Zeitraum die gemeinnützigen Wohnbauträger im Passivhausstandard bauen mussten. Seit 2014 besteht diese Verpflichtung nicht mehr. Im Jahr 2010 besaßen 38% der BGF aller ausgestellten Neubau-Energieausweise eine Lüftung mit WRG während es 2014 nur noch 27% waren. Es wird angenommen, dass bei den im Jahr 2015 neugebauten EFH 20% bezogen auf die BGF eine WRG besitzen und 30% bei den Mehrfamilienhäusern. Es wird je nach Szenario von einem weiteren Rückgang, Stagnation oder einem erneuten Anstieg ausgegangen. Selbst im Effizienz-Szenario wird angesichts der in den vergangenen Jahren gesunkenen Marktanteile nur ein Marktanteil

von Lüftungsanlagen mit WRG von 30% in neu errichteten Einfamilienhäusern und 40% in neu errichteten Mehrfamilienhäusern modelliert. Dass dies eine sehr konservative Annahme ist, zeigt der Vergleich mit Luxemburg, wo der Anteil der Komfortlüftungen im Neubau seit 2016 bei knapp 100% liegt.

(2) Bei der Modellierung der zukünftigen Struktur wird im Wesentlichen auf bekannte und bereits erprobte Systeme und Energieträger gesetzt. Die Effizienz der unterschiedlichen Systeme wird aber je nach Szenario in der Zukunft als verbessert angenommen. Auch der Anteil der erneuerbaren Energie, vor allem beim Strom, aber auch beim Gas (Methanisierung) wird je nach Szenario erhöht und auch der Anteil an KWK-Anlagen steigt. Dies spiegelt sich dann auch in niedrigeren CO_2 - und Primärenergie-Faktoren wieder. Es wird immer unterstellt, dass sich nicht nur die Gebäude und deren Energieträgermatrix zukünftig ändern, sondern wie bis jetzt auch gleichzeitig die Versorgungsstruktur. Somit kann z.B. auch ein erhöhter Anteil an Wärmepumpen akzeptiert werden, auch wenn diese im Vergleich zur Biomasse momentan einen (mit OIB-Faktoren berechnet) höheren CO_2 Ausstoß aufweisen.

Anmerkungen zu Teil 9: Strategische Fragen und Analysen

(1) Unter Dekarbonisierungsfaktor versteht man das Zahlenverhältnis zwischen den Kohlendioxidemissionen im Ausgangszustand (hier: 2010) und den Kohlendioxidemissionen im Zieljahr (hier: 2050). Sie werden hier analog zu Effizienzfaktoren verwendet. Weitere Hinweise finden sich in (Vallentin 2011, S. IV-130 f.)

11 Literatur

(AEA 2015) Österreichische Energieagentur –Austrian Energy Agency (Hrsg.): „Szenarien für Strom- und Fernwärmeaufbringung und Stromnachfrage im Hinblick auf Klimaziele 2030 und 2050“; Internet-Veröffentlichung; ULR: https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/publikationen/berichteBro-schueren/Szenarien_fuer_Strom-_und_Fernwaermeaufbringung_und_Strom-nachfrage_im_Hinblick_auf_Klimaziele_2030_und_2050.pdf, aufgerufen am 10.11.2017.

(AVL 1983) Amt der Vorarlberger Landesregierung (Hrsg.): „Grundlagen und Probleme der Raumplanung in Vorarlberg“, Eigenverlag, 1983. Auch als Internetveröffentlichung verfügbar; ULR: <https://www.vorarlberg.at/pdf/06ggrundlagenundproblemed.pdf>; aufgerufen am 03.03.2017.

(AVL 2012) Kessler, S. (Infras); Sieber, W. (Ökologieinstitut): Schritt für Schritt zur Energieautonomie in Vorarlberg: 101 enkeltaugliche Maßnahmen; Amt der Vorarlberger Landesregierung (Herausgeber); Bregenz, 2012.

(AVL 2014) Amt der Vorarlberger Landesregierung (Hrsg.): „Energiebericht 2014 auf der Basis des Endenergieverbrauchs in Vorarlberg 2013“, Eigenverlag, 2014. Auch als Internetveröffentlichung verfügbar; ULR: <https://www.vorarlberg.at/pdf/06ggrundlagenundproblemed.pdf>; aufgerufen am 03.03.2017.

(AVL 2017) Amt der Vorarlberger Landesregierung (Hrsg.): „Land Vorarlberg -Förderung von thermischen Solaranlagen in Wohnbauten“. Online-Veröffentlichung, ULR: https://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser_energie/energie/energie/foerderungen/sub/foerderungvonthermischens.htm, Zugriff am 16.Mai 2017.

(bda 2017) Bundesdenkmalamt der Republik Österreich: Denkmalverzeichnis ULR: <https://bda.gv.at/de/denkmalverzeichnis/>, aufgerufen am 05.11.2017.

(bmwfw 2015) Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (Hrsg.): „Energienstatus Österreich 2015“; Internetveröffentlichung; ULR: <https://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/Documents/Energienstatus%20%C3%96sterreich%202015.pdf>, aufgerufen am 08.11.2017.

(BTV 2017) Amt der Vorarlberger Landesregierung: Verordnung der Landesregierung über die technischen Erfordernisse von Bauwerken - Ausgabe 2017; veröffentlicht im LGBl.Nr 93/2016.

(Consiste 2008) Ursula Rath, et al.; CONSISTE (Hrsg.): „Stromeffizienzpotenziale in Haushalten und Dienstleistungsbetrieben in Vorarlberg“; Internet-Veröffentlichung; ULR: <https://www.vorarlberg.at/pdf/studiestromeffizienzpoten.pdf>, aufgerufen am 10.11. 2017.

(EAWZ 2016) (EAWZ 2016): Brunn, M.: Energieausweiszentrale Vorarlberg,

Jahresbericht 2015; Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung VI a, Fachbereich Energie und Klimaschutz (Herausgeber); Bregenz, Juni 2016.

(EAV Vision 2010) Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bereich Energie (Herausgeber): Energiezukunft Vorarlberg – Etappenbericht; Schritt für Schritt zur Energieautonomie. Quantifizierungen und Zukunftsentwürfe Arbeitsergebnisse aus den Werkstätten; Bregenz, 2010.

(EIV 2016) Ploss, Martin; Hatt, Tobias; et al.: Modellvorhaben „KliNaWo“ - Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau - Zwischenbericht Januar 2017, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2017.

(Energiebericht 2014) Amt der Vorarlberger Landesregierung, Allgemeine Wirtschaftsangelegenheiten, Fachbereich Energie und Klimaschutz (Herausgeber): Energiebericht 2014, Bregenz, Dezember 2014.

(Energiekonzept 2010) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (Hrsg.): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin, September 2010.

(EIV 2015) Energieinstitut Vorarlberg (Hrsg.): „Heizsysteme in der WBF 2002-2014 (korr.); Entwicklung der Heizsysteme samt den zugehörigen thermischen Solaranlagen und PV-Anlagen in der Vorarlberger Neubauförderung von 2002 bis 2014“, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, Eigenverlag, 2015.

(EIV 2017) Ploss, M.; Hatt, T. ; Schneider, Ch.; Braun, M.: Modellvorhaben KliNaWo – klimagerechter nachhaltiger Wohnbau – Zwischenbericht 2017, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, Jänner 2017.

(EIV 2017a) Energieinstitut Vorarlberg (Hrsg.): „SUSI – Strom-Unabhängigkeitssimulation“. Internet-Tool, verfügbar unter: www.energieinstitut.at, 2017.

(EU 2014) „Klima- und Energiepaket 2020“ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de.

(EWI/prognos 2005) Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (Hrsg.): „Energiebericht IV“, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2005.

(EZV 2015) Energieausweis Zentrale Vorarlberg (Hrsg.): „Jahresbericht 2014“, Amt der Vorarlberger Landesregierung Abteilung VI a Fachbereich Energie und Klimaschutz, Eigenverlag, Bregenz, 2015.

(EZV 2015a) Energieausweis Zentrale Vorarlberg (Hrsg.): „Ergänzende Auswertungen 2014“, Amt der Vorarlberger Landesregierung Abteilung VI a. Fachbereich Energie und Klimaschutz, Eigenverlag, Bregenz, 2015.

(EZV 2016) Energieausweis Zentrale Vorarlberg (Hrsg.): „Jahresbericht

- 2015“, Amt der Vorarlberger Landesregierung Abteilung VI a Fachbereich Energie und Klimaschutz, Eigenverlag, Bregenz, 2016.
- (Frondel et al. 2006) Frondel, Manuel et al.: „Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für das Jahr 2005“, Forschungsprojekt Nr. 15/06 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Eigenverlag, Berlin, 2006.
- (IWU 2003) Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.): „Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze“, Eigenverlag, Darmstadt, 2003.
- (IWU 2003 a) Born, Rolf; Großklos, Marc; Loga, Tobias; Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.): „Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie; Studie im Auftrag des Impulsprogramms Hessen“. Eigenverlag, Wiesbaden und Darmstadt, 2003.
- (IWU 2012) Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.): „Standardnutzungsbedingungen für LEG-Jahresverfahren“, Excel-Datei >leg-standardnutzung<, Download unter: www.iwu.de. aufgerufen am 05.10.2012.
- (LEG Energiepass Heizung und Warmwasser) Loga, Tobias; Imkeller-Benjes, Ulrich: „LEG - Energiepass Heizung-Warmwasser“, Eigenverlag, Darmstadt, 1997, Download unter: www.iwu.de, Stand: 5.10.2012.
- (LfS-AVL 2016) Amt der Vorarlberger Landeregierung - Landesstelle für Statistik (Hrsg.): „Bevölkerung und Staatsbürgerschaftsverleihungen - 2015“, Internet-Veröffentlichung; URL: <https://www.vorarlberg.at/pdf/bevoelkerungstaatsbuer.pdf>, aufgerufen am 10.11.2017.
- (LfS-AVL 2016a) Amt der Vorarlberger Landeregierung - Landesstelle für Statistik (Hrsg.): „Regionale Bevölkerungsprognose 2015 - 2050“, Internet-Veröffentlichung; URL: <https://www.vorarlberg.at/pdf/bevoelkerungsprognose2015.pdf>, aufgerufen am 10.11.2017.
- (Kah et al. 2015)) Kah, Oliver; Pfluger, Rainer; Feist, Wolfgang: „Luftwechselraten in bewohnten, sehr luftdichten Gebäuden mit kontrollierter Wohnungslüftung“, IEA SHC TASK 38 / ECBCS ANNEX 38, 2995. Download unter: www.passiv.de.
- (Kern 2016) Kern, Michaela: Die Konsequenzen des 2°-Ziels auf die energetischen Anforderungen an Wohngebäude, Eigenverlag, München, 2016.
- (Kleemann et al. 2000) Kleemann, Martin et al.: „Die Entwicklung des Energiebedarfs zur Wärmebereitstellung in Gebäuden“, Bremer Institut (Hrsg.), Eigenverlag, Bremen, 2000.
- (Meinshausen et al. 2009) Meinshausen, Malte et al.: „Greenhouse-gas-emission targets for limiting global warming to 2°C“, Nature, Vol. 458, 30. April 2009, doi: 10.1038/nature 08017.
- (Meyer 2000) Meyer, Aubrey: „Contraction & Convergence. The Global Solution to Climate Change.“ Green Books für The Schumacher Society, Bristol, 2000.
- (Miara et al. 2011)) Miara, M. et al.: „Wärmepumpen Effizienz – Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb“, Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (Hrsg.), Eigenverlag, Freiburg, 2011.
- Norm ISO 13790
- (OIB) Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): „OIB-Dokument zum Nachweis der Kostenoptimalität der Anforderungen der OIB RL 6 bzw. des Nationalen Plans gemäß 2010/31/EU“, OIB, Wien, 2014.
- (OIB-RL-6 2011) Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): „Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“, Internet-Veröffentlichung; URL: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Landesnormen/LTI40035253/Leitfaden_energietechnisches_Verhalten__Oktober_2011_Revision_Dezember_2011.pdf; aufgerufen am 10.11.2017.
- (OIB 2014) Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): „OIB-Dokument zum Nachweis der Kostenoptimalität der Anforderungen der OIB RL 6 bzw. des Nationalen Plans gemäß 2010/31/EU“, OIB, Wien, 2014.
- (OIB-RL-6 2015) Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): „Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden - OIB-330.6-011/15“, Internet-Veröffentlichung; URL: https://www.oib.or.at/sites/default/files/leitfaden_richtlinie_6_26.03.15_0.pdf; aufgerufen am 10.11.2017.
- (Peper / Feist 2008) Peper, Soren; Feist, Wolfgang: „Gebäudesanierung >Passivhaus im Bestand< in Ludwigshafen-Mundenheim“, Passivhaus-Institut (Hrsg.), Eigenverlag, Darmstadt, 2008.
- (Peper 2009) Peper, Sorgen et al.: „Sanierung mit Passivhauskomponenten – Messtechnische Untersuchung und Auswertung Tevesstraße Frankfurt am Main“, Passivhaus Institut (Hrsg.), Eigenverlag, Darmstadt, 2008, 2009.
- (PHPP) Autorenteam des Passivhausinstituts: „Passivhaus-Projektierungs-Paket“, Version 7 (2012), Eigenverlag, Darmstadt, 2012, Bezug über: www.passiv.de.
- (PHPP 2007) Autorenteam des Passivhausinstituts: „Passivhaus-Projektierungs-Paket“, Eigenverlag, Darmstadt, 2007, Bezug über: www.passiv.de.
- (Ploss 2017) Ploss, Martin: „Kosten und Wirtschaftlichkeit von Sanierungen auf Passivhausniveau“, in: IBO (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (Hrsg.): Passivhaus Bauteilkatalog Sanierung, Birkhäuser Verlag, 2017.
- (Regionalmedien Austria 2017) Regionalmedien Austria (Hrsg.): „Pernkopf: Aus für Ölkessel und Gatterjagden in Niederösterreich“. Online-Veröffentlichung. Verfügbar unter: <https://www.meinbezirk.at/land-niederoesterreich/politik/pernkopf-aus-fuer-oelkessel-und-gatterjagden-in-niederoesterreich-d2125370.html>, aufgerufen am 18.Mai 2017.
- (Reiß/Erhorn/Ohl 2001) Reiß, J.; Erhorn, H.; Ohl, J.: „Klassifizierung des Nutzerverhaltens bei der Fensterlüftung“. HLH 52 (2001), Heft 8, S. 22-26.
- (Rheintalkarten 2017) Amt für Raumentwicklung und Geoinformation des

Kantons Sankt Gallen, Abteilung Raumplanung und Baurecht im Amt der Vorarlberger Landesregierung (Herausgeber): Rheintalkarten, Werkheft 2012, Bregenz und St. Gallen, Dezember 2012.

(Schremmel / Mollay / Moser 2014) Schremmel, C.; Mollay, U.; Moser, P.: „Wohnungsbedarfsprognose für Vorarlberg und die Region Rheintal zum Jahr 2030“, Wien: ÖIR GmbH, August 2014.

(Schröder et al. 2011) Schröder, Franz et al.: „Spezifischer Heizenergieverbrauch und Temperaturverteilungen in Mehrfamilienhäusern – Rückwirkung des Sanierungsstandes auf das Nutzerverhalten“, HLH Bd. 61 (2010), Nr. 11, S. 22-25.

(Statistik Austria 2013) Statistik Austria: Census 2011 Vorarlberg – Ergebnisse zur Bevölkerung aus der Registerzählung, Wien, 2013.

(Statistik Austria 2016b) Statistik Austria (Hrsg.): „Haushaltsprognose 2016“ - Privathaushalte 2011 - 2080 nach Bundesländern“. Internet-Veröffentlichung unter: www.statistik.at.

(Statistik Austria 2015) Statistik Austria, „Heizungen 2004 -2014 nach Bundesländern, verwendetem Energieträger und Art der Heizung Ergebnisse für Vorarlberg“. Online-Veröffentlichung, ULR: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html, aufgerufen am 11.November 2015.

(Statistik Austria 2016) Statistik Austria (Hrsg.): „Gebäude- und Wohnungszählung 2001; Hauptergebnisse Vorarlberg“, Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien, Statistik, 2004, Online-Veröffentlichung, ULR: http://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=007092, aufgerufen am 24.Mai 2016.

(Statistik Austria 2016a) Statistik Austria (Hrsg.): „Census 2011: Gebäude- und Wohnungszählung, Ergebnisse zu Gebäuden und Wohnungen aus der Registerzählung“, Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien, Statistik, 2013; Online-Veröffentlichung, ULR: http://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=073980, aufgerufen am 24.Mai 2016.

(Statistik Austria 2016b) Statistik Austria (Hrsg.): „Haushaltsprognose 2016“ - Privathaushalte 2011 - 2080 nach Bundesländern“. Internet-Veröffentlichung unter: www.statistik.at.

(Statistik-Austria 2017) ULR: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/index.html, aufgerufen am 08.11.2017.

(Stolz / Frischknecht 2016) Stolz, Philippe, Frischknecht, Rolf: „Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen - Stand 2016“; Internet-Veröffentlichung; ULR: http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/563-Energiesysteme-v1.0.pdf, aufgerufen am 10.11. 2017.

(UN 2016) Ratifizierung Klimaabkommen von Paris ULR: (<http://unfccc.int/>

[paris_agreement/items/9444.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9444.php)).

(Vallentin 2011) Vallentin, Rainer: „Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern. Begründung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnungsbau“, Cuvillier Verlag, Göttingen, 2011.

(WBGU 2009) Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: „Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz“, Eigenverlag, Berlin, 2009.

(Wikipedia 2017) Wikipedia-Bertrag: „Energiewende nach Staaten“, Online-Veröffentlichung, ULR: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Energiewende_nach_Staaten&oldid=165586979, aufgerufen am 18. Mai-2017.