

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik

Methodenentwicklung zur Bestimmung von Potenzialen
der Energieeffizienzsteigerung im Haushalts- und GHD-Sektor
- Am Beispiel von drei Landkreisen in Bayern -

Isabell Nemeth

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herzog

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich
3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Die Dissertation wurde am 04.10.2010 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
am 12.01.2011 angenommen.

Für H. und G.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als Stipendiatin am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der Technischen Universität München unter der Leitung von Herrn Professor Dr.-Ing. Ulrich Wagner. Finanziell unterstützt wurde die Bearbeitung des Themas durch ein 3-jähriges Stipendium der Stiftung Nagelschneider, für das ich mich an dieser Stelle herzlich bedanken möchte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Ulrich Wagner für die wertvollen Diskussionen und Anregungen sowie den Freiraum, der mir für die Bearbeitung des Themas zugestanden wurde. Herrn Professor Dr.-Ing. Martin Faulstich und Herrn Professor Dr.-Ing. Gerd Hauser gilt mein Dank für die freundliche Bereitschaft zur Übernahme des Koreferats, Herrn Professor Dr.-Ing. Hans-Georg Herzog danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Vielfacher Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, die in zahlreichen Diskussionen und Gesprächen zum Gelingen der Arbeit wesentlich beigetragen haben und mir bereichernde Einblicke in viele benachbarte Themenbereiche ermöglichten.

Wertvolle und unermüdliche Unterstützung erhielt ich von Heinrich Kleeberger, Peter Hepperger und Hans Roth, bei denen ich mich ausdrücklich für Ihre stete Bereitschaft zu Diskussionen, kritischen Hinterfragungen und den Beistand in unsicheren Momenten bedanken möchte.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt für den Sektor Haushalte ein bottom-up Modell zur Simulation der regionalen Heizwärmebedarfsentwicklung von Wohngebäuden. Dabei wird die technische Lebensdauer für die stochastische Beschreibung des Ausfallverhaltens der Bauteile in der wärmeübertragenden Gebäudehülle verwendet. Diese Abbildung der Lebenszyklen ermöglicht neben der zeitlichen Einordnung auch die qualitative Einschätzung von Sanierungsmaßnahmen, so dass eine Berechnung der Sanierungsquoten und des landkreisspezifischen Heizwärmebedarfs bis zum Jahr 2030 erfolgen kann.

Für den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung wird auf der Basis der Gewerbeanmeldungen und der Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in drei bayerischen Landkreisen eine Methodik zur Abbildung der Erwerbstätigenzahlen in den unterschiedlichen Wirtschaftsbranchen erarbeitet, die eine Hochrechnung des Energieverbrauchs des Sektors ermöglicht

Abstract

The work presented describes a bottom-up simulation model for the regional heat-demand in residential buildings. Thereby the technical durability is used as the base for the random failure performance of the components in the heat transmitting building shell. This sort of description enables in addition to the time classification also the estimation of the quality of the rehabilitation measure. As a result a quota for the rehabilitation measures and the specific heat demand of regional districts until the year 2030 can be calculated. Furthermore a method for description of the number of all employees is developed. It is based on the number of business registrations and the number of employees who are subjects of the social insurance contribution system of three Bavarian administrative districts for the sector commerce, trade and services. Hence a useful extrapolation of the sector's energy demand is possible.

Inhalt

1	Einleitung	11
1.1	Problemstellung	11
1.2	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	13
2	Auswahl der Landkreise	15
2.1	Vorgehensweise bei der Landkreisauswahl	15
2.2	Untersuchung der primären Kenngrößen	15
2.3	Untersuchung der sekundären Kenngrößen	17
3	Der Heizwärmebedarf der Wohngebäude	21
3.1	Charakterisierung des Wohngebäudebestands in den drei Landkreisen	21
3.1.1	Datenbasis zu den Wohngebäuden	21
3.1.1.1	Erhebungen des statistischen Landesamtes	21
3.1.1.2	Gebäudestruktur in den drei Landkreisen	22
3.1.1.3	Wohnflächenentwicklung in den drei Landkreisen	24
3.1.2	Charakterisierung des Gebäudebestands durch die deutsche Gebäudetypologie	25
3.1.3	Regionale Anpassung der Gebäudetypen	28
3.1.3.1	Anpassung der Wohnflächen	28
3.1.3.2	Anpassung der Bauteilflächen in den Ein- und Zweifamilienhäusern	30
3.1.3.3	Anpassung der Bauteilflächen bei den Mehrfamilienhäusern	32
3.2	Methodenentwicklung zur Beschreibung des Lebenszyklus der Gebäude in den Landkreisen ...	34
3.2.1	Technische Lebensdauer von Bauteilen	34
3.2.2	Stochastische Beschreibung der Lebensdauer von Bauteilen	35
3.2.2.1	Beschreibung der Lebensdauersanierungen durch die Normalverteilung	36
3.2.2.2	Beschreibung von zufälligen Sanierungen durch die Exponentialverteilung	39
3.3	Effizienzsteigerungen in der Energienachfrage von Gebäuden	40
3.3.1	Historische Entwicklung der Anforderungen des Wärmeschutzes von Gebäuden	40
3.3.2	Maßnahmen zur Verringerung des Heizwärmebedarfs an der Gebäudehülle	43
3.3.2.1	Außenwände	43
3.3.2.2	Dach/oberer Gebäudeabschluss	44
3.3.2.3	Fenster	45
3.3.2.4	Unterer Gebäudeabschluss	45
3.4	Bilanzierung des Raumwärmedarfs in Gebäuden	46
3.4.1	Bilanzierung des Heizwärmebedarfs	47
3.4.2	Berechnung der Transmissionswärmeverluste	48
3.4.3	Berechnung der Lüftungswärmeverluste	48
3.4.4	Einfluss der klimatischen Randbedingungen	49
3.4.5	Berechnung der solaren Gewinne	49
3.4.6	Berechnung der internen Gewinne	50
3.5	Modellierung der Entwicklung des Heizwärmebedarfs der Wohngebäude	51

3.5.1	Individualisierung der Wohngebäude	51
3.5.2	Ermittlung des Lebenszyklus der Einzelgebäude.....	52
3.5.2.1	Ermittlung der Bauteillebensdauer	53
3.5.2.2	Ermittlung der Sanierungszeitpunkte für den unteren Gebäudeabschluss	56
3.5.3	Wärmeschutzsanierung der Wohngebäude	56
3.5.3.1	Ex-post Betrachtung bis zum Jahr 2008.....	56
3.5.3.2	Betrachtung für den Zeitraum 2009-2030	57
3.6	Szenarien der Heizwärmebedarfsentwicklung bis zum Jahr 2030	59
3.6.1	Modellierung der Ausgangslage in den Landkreisen heute	59
3.6.1.1	Ausgangslage im Landkreis Ebersberg	61
3.6.1.2	Ausgangslage im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Jahr 2008	64
3.6.1.3	Straubing-Bogen.....	66
3.6.2	Rahmenbedingungen für die szenarische Betrachtung	68
3.6.2.1	Bevölkerungsentwicklung	69
3.6.2.2	Entwicklung der Wohnfläche je Einwohner	70
3.6.2.3	Gebäudeabgang	71
3.6.2.4	Neubau in den Jahren 2009-2030.....	72
3.6.2.5	Zukünftige Anforderungen an den Wärmeschutz von Wohngebäuden.....	76
3.6.3	Szenarien zur Entwicklung des Heizwärmebedarfs in den drei Landkreisen	77
3.6.3.1	Ebersberg.....	80
3.6.3.2	Erlangen-Höchstadt	85
3.6.3.3	Straubing-Bogen.....	90
4	Der Energiebedarf im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD)	94
4.1	Definition und Abgrenzung des Sektors GHD	95
4.2	Bezugsgrößen für die Hochrechnung des Energiebedarfs.....	97
4.3	Datenquellen zum Gewerbe in Landkreisen	98
4.4	Abbildung der Wirtschaftsstruktur im Sektor GHD in den drei betrachteten Landkreisen	100
4.4.1	Vorgehensweise bei der Abgrenzung zwischen den Sektoren Industrie und GHD.....	100
4.4.2	Erhebung der Gewerbeanmeldungen in den Landkreisen.....	100
4.4.3	Methodik der Hochrechnung der Erwerbstätigenzahlen im Sektor GHD in den drei Landkreisen.....	102
4.4.4	Erwerbstätigenzahlen in den verschiedenen Branchen der WZ im Sektor GHD der drei betrachteten Landkreise.....	106
4.5	Hochrechnung des Energieverbrauchs im Sektor GHD der drei Landkreise	111
4.5.1	Gliederung der Wirtschaftsbranchen in Gruppen ähnlicher Verbrauchsstrukturen.....	111
4.5.2	Spezifische Energieverbrauchswerte der Branchen im Sektor GHD.....	112
4.5.3	Energiebedarf im Sektor GHD der drei Landkreise.....	113
5	Schlussbetrachtung	119
6	Literaturverzeichnis	125

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die bevorstehenden gravierenden Veränderungen in der weltweiten Klima- und Ressourcensituation erfordern ein grundsätzliches Umdenken bei der Auswahl der Energieträger und beim Einsatz von Energie. Die wachsende Weltbevölkerung und die stetig steigende Nachfrage der Schwellenländer nach Energie erzwingen dies in besonderem Maße.

Obwohl der zunehmende Einfluss des Menschen auf die Erwärmung der Erdatmosphäre bereits seit geraumer Zeit diskutiert wird, rückt der postulierte Zusammenhang zwischen Emissionen beim Einsatz von Energie und den vielfach skizzierten Folgen einer Klimaveränderung erst langsam in das Bewusstsein der Menschen. Beispielhaft dafür ist der Zeitraum zwischen dem Beschluss des Kyoto-Protokolls 1997 und seinem Inkrafttreten im Jahr 2005, der von herben Rückschlägen, zähen Verhandlungen und langem Zögern der Vertragsstaaten gekennzeichnet war. Ein weiteres Beispiel bietet die Klimakonferenz in Kopenhagen im Dezember 2009, die trotz der hohen Erwartungen und des großen internationalen Interesses letztendlich ohne den Beschluss eines Klimaschutzabkommens für den Zeitraum nach der Gültigkeit des Kyoto-Protokolls beendet wurde.

Doch nicht allein die drohende weitere Erwärmung der Erdatmosphäre erfordert ein Umdenken beim Einsatz von Energie. Die Reichweiten der fossilen Energieträger sind begrenzt, auch wenn immer neue Funde von Lagerstätten und die Neubewertung bereits bekannter Lagerstätten die Reichweiten nach hinten korrigieren. Der heutige Umfang der Nutzung fossiler Energieträger ist eindeutig nicht nachhaltig, weder nach ökologischen, noch nach sozialen oder wirtschaftlichen Gesichtspunkten [1]. Die Herausforderung der nächsten Jahre besteht in der Bewältigung des Wechsels zu einem umweltschonenden, emissionsarmen und leistungsfähigen Energiesystem, in dem eine verlässliche und erschwingliche Energieversorgung möglich ist.

In der öffentlichen Diskussion wird der Einsatz der erneuerbaren Energien als Maßnahme zur Reduktion von Treibhausgasemissionen vielfach in den Vordergrund gestellt und die enormen Potentiale zur Energieeinsparung auf der Energienachfrageseite häufig vernachlässigt. Insbesondere der Gebäudebereich, für dessen Beheizung in Deutschland ca. ein Viertel der Endenergie aufgewendet wird, bietet viel versprechende Einsparungsmöglichkeiten. Angesichts der Strategien zur Reduktion der Emission von Treibhausgasen erfordert das Minderungspotential im Gebäudebestand besondere Beachtung. Nach einer im Rahmen des CO₂ Gebäudereports von TNS Emnid erstellten Studie [2] werden die enormen Einsparpotentiale bei der Sanierung von Altbauten in

der Bevölkerung noch immer weitestgehend unterschätzt. Sowohl Mieter als auch Gebäudeeigentümer halten demnach eine Energieeinsparung durch Sanierung von durchschnittlich ca. 20 % für möglich, obwohl sich bei den meisten Gebäuden das Zwei- oder Dreifache einsparen ließe. Dieses Potenzial wird von Gebäudebesitzern bei der Durchführung von Sanierungen bisher nur sehr wenig genutzt. Als Argument werden häufig mangelnde ökonomische Rentabilität genannt und damit die Kosten von ohnehin anstehenden Sanierungen allein den Energieeinsparbestrebungen und nicht dem Werterhalt des Gebäudes zugeschrieben. Dieses Phänomen lässt sich gleichermaßen bei Wohn- wie auch bei Gewerbegebäuden finden. Besonderes Augenmerk erfordern dabei die vermieteten Gebäude, da durch die Heizkostenlast der Mieter die Kostenminderung durch eingesparte Energie in den meisten Fällen dem Mieter und damit nicht dem Investor der Einsparungsmaßnahmen zugute kommt.

In vielen Regionen Deutschlands entwickeln sich die Energieeinsparbestrebungen in den letzten Jahren mit zunehmender Dynamik. Zahlreiche Landkreise und Gemeinden erarbeiten Konzepte für die Nutzung der vor Ort verfügbaren Rohstoffe und unterstützen den bewussten Einsatz von Energie durch finanzielle Förderungen. Damit sind eine Steigerung der regionalen Wertschöpfungskette sowie eine Verringerung der Abhängigkeit von Energieimporten verbunden. Die Menge der eingesetzten Energie in den Gemeinden und Landkreisen ist von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig, die je nach betrachteter Region stark variieren. Die Bebauungsdichte der Region, die Nähe zur nächsten Großstadt sowie die Struktur des regional ansässigen Gewerbes und des Gebäudebestands sind nur eine kleine Auswahl dieser Faktoren. Die Wirksamkeit der Effizienzbemühungen sowie der Konzepte zur Nutzung der vor Ort verfügbaren Rohstoffe setzen eine detaillierte Kenntnis dieser Einflussgrößen und damit der Ausgangssituation in den Regionen voraus.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse der regionalen Einflussgrößen und der Hochrechnung des Energiebedarfs abgegrenzter Bezugsräume in den Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD). Dazu wird anhand von drei ausgewählten bayerischen Landkreisen eine Methodik zur Abschätzung des heutigen und zukünftigen Heizwärmebedarfs des landkreisspezifischen Wohngebäudebestands entwickelt, die unter Zuhilfenahme stochastischer Schritte die fehlenden Daten zur Entwicklung des Wärmeschutzes im Wohngebäudebestand mittels einer Ex-Post-Betrachtung nachbildet und auf dieser Grundlage mögliche weitere Entwicklungen berechnet. Im sehr heterogenen und sich stetig wandelnden Sektor GHD wird eine Methodik zur Abbildung der regionalen Struktur des Gewerbes erarbeitet, die anhand der Gewerbemeldungen und der Zahlen zu den sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten auf der Ebene der Dreisteller der Klassifikation der Wirtschaftszweige eine Hochrechnung aller Erwerbstätigen des Landkreises sowie des aktuellen Energieverbrauchs unterschieden nach 12 Gruppen ermöglicht.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Die Analyse von regionalen Energiebedarfsstrukturen sowie die Hochrechnung des Energiebedarfs sind in weiten Teilen von der Verfügbarkeit statistischer Daten zu den betrachteten Regionen abhängig. Stehen auf der Ebene der Bundesländer in Deutschland umfangreiche statistische Daten zu den verschiedenen Einsatzgebieten von Energie zur Verfügung, so müssen auf der Ebene von Landkreisen bereits zahlreiche Einschränkungen durch den Datenschutz hingenommen werden. Mit dem Anteil an Einschränkungen durch den Datenschutz wächst bei kleinen Untersuchungsräumen die Ungenauigkeit der Betrachtung, da der Anteil von singulären Merkmalen die Energiebedarfsstrukturen zunehmend beeinflusst. Beispiele dafür bieten die Sektoren Industrie und Verkehr. Die Struktur des Sektors Industrie ist mit Betriebsgrößen zwischen zwanzig und mehreren tausend Mitarbeitern sehr inhomogen; die unterschiedliche Energieintensität der jeweiligen Branche macht zudem detaillierte Kenntnisse zu den Produktionsabläufen erforderlich, um eine Hochrechnung des Energiebedarfs vorzunehmen oder Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz formulieren zu können. Im Sektor Verkehr steht die zunehmende Mobilität und die Entstehung überregionaler Verkehrsverbünde einer regionalen Betrachtung entgegen. Die täglich zurückgelegten Wege beschränken sich in der Regel nicht auf Strecken innerhalb eines Landkreises, zudem befinden sich häufig Autobahnen innerhalb der Landkreisgrenzen, die durch den Transitverkehr eine Abgrenzung des Betrachtungsraumes erschweren.

Die Zunahme an spezifischen Einflussfaktoren bei kleineren Untersuchungsräumen findet nicht in allen vier energiewirtschaftlichen Sektoren im gleichen Umfang statt. Im Sektor Haushalte beeinflusst unter anderem die Spreizung der Gebäudegrößen die Entstehung von singulären Merkmalen, da diese zwischen einer und z.B. 100 Wohneinheiten je Gebäude betragen kann. Bei einer Gebäudemenge von ca. 30.000 Gebäuden je Landkreis ist der Einfluss einzelner sehr großer Gebäude auf das Gesamtergebnis jedoch gering und die Anzahl großer Gebäude noch immer ausreichend hoch, so dass durch den Datenschutz keine gravierenden Einschränkungen entstehen. Auch im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) besteht durch die hohe Anzahl der Betriebe auf Landkreisebene eine weitgehend ausgeglichene Struktur. Da Betriebe des produzierenden Gewerbes nur mit bis zu 19 Mitarbeitern zum Sektor GHD gezählt werden, sind singuläre Einflüsse durch einzelne Betriebe des produzierenden Gewerbes auch hier gering.

Für den Sektor Haushalte ist die Erarbeitung eines bottom-up Modells zur Hochrechnung des Heizwärmebedarfs im regionalen Wohngebäudebestand sowie dessen Entwicklung bis zum Jahr 2030 das Ziel der vorliegenden Arbeit. Die Verwendung des Heizenergiebedarfs als Zielgröße für die Hochrechnung konnte aufgrund der fehlenden Informationen zu der in den Wohngebäuden in den drei Landkreisen vorhandenen Anlagentechnik nicht vorgenommen werden.

In Kapitel 3.1 wird daher zunächst aus statistischen Daten für jeden der drei betrachteten Landkreise eine Liste der Wohngebäude erstellt. Zur Charakterisierung der Wohngebäude werden die Gebäude- und Bauteilflächen sowie die bauphysikalischen Eigenschaften der deutschen Gebäudetypologie entnommen und diese durch Anwendung des Flächenschätzverfahrens [4] an die regionalen Gebäudegeometrien angepasst. Die Methodik zur Nachbildung der Sanierungsaktivitäten an den Einzelgebäuden, unter Verwendung stochastischer Hilfsmittel, wird in Kapitel 3.2 beschrieben. Kapitel 3.3 gibt einen Überblick über mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz der Gebäudehülle, während in Kapitel 3.4 das zur Berechnung des Heizwärmebedarfs verwendete Verfahren vorgestellt wird. Die Verbindung der Methodik mit den landkreisspezifischen in einem Gesamtmodell wird in Kapitel 3.5 beschrieben, während in Kapitel 3.6 Szenarien für Entwicklung des Heizwärmebedarfs bis zum Jahr 2030 sowie die zugrunde liegenden Randbedingungen vorgestellt werden.

Ziel der Arbeit im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) ist die Entwicklung einer Methode zur Abbildung der relevanten Daten des ansässigen Gewerbes sowie die Hochrechnung des Energieverbrauchs in Regionen. Die Grundlage dazu bilden die Ergebnisse der vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik und der Gesellschaft für Konsumforschung erstellten Studie zum Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistung für die Jahre 2004 bis 2006 [3]. Nach der Schilderung der definitorischen Abgrenzung des Sektors in Kapitel 4.1 wird im anschließenden Kapitel 4.2 auf die Bezugsgrößen zur Hochrechnung des Energiebedarfs eingegangen, bevor in Kapitel 4.3 die verschiedenen Datenquellen im Hinblick auf ihren Nutzen in der Hochrechnung bewertet werden. Die Methodik zur Abbildung der regionalen Gewerbestruktur anhand der Gewerbeanmeldungen und der Daten des Instituts für Arbeitsmarkt und Berufsforschung wird in Kapitel 4.4 beschrieben. Die Hochrechnung des Energiebedarfs im Sektor GHD der Landkreise wird daran anschließend in Kapitel 4.5 vorgenommen, wo auch die Ergebnisse für alle drei Landkreise dargestellt werden.

2 Auswahl der Landkreise

2.1 Vorgehensweise bei der Landkreisauswahl

Als regionale Untersuchungsräume stehen in Bayern 71 Landkreise und 24 kreisfreie Städte zur Verfügung. Da parallel zu der vorliegenden Arbeit eine Untersuchung der regional verfügbaren erneuerbaren Energien erfolgte, wurden die kreisfreien Städte aufgrund der fehlenden Flächen für die Gewinnung der Biomasse von der Untersuchung ausgeschlossen. Um die Auswirkung möglichst vieler Kriterien auf den Energiebedarf beschreiben zu können, war es das Ziel der Auswahl, drei Landkreise mit sehr unterschiedlichen Charakteristika zu benennen. Es wurde in drei Schritten vorgegangen, während die Anzahl der Landkreise bei jedem Schritt durch Ausschluss verringert wurde.

2.2 Untersuchung der primären Kenngrößen

Angelehnt an die Unterteilung der Anwendungsbereiche von Energie in die vier energiewirtschaftlichen Sektoren geben mehrere charakterisierende Merkmale der Landkreise Hinweise auf den Schwerpunkt des dortigen Energiebedarfs. Neben der Bevölkerungszahl und der Einwohnerdichte beeinflusst dabei insbesondere die Art und Anzahl des ansässigen Gewerbes den regionalen Energiebedarf. Während der Energiebedarf der Haushalte im Wesentlichen durch die Bevölkerungsanzahl und die Bevölkerungsdichte beeinflusst wird, gibt die Struktur der Erwerbstätigen Hinweise auf den gewerblichen Energiebedarf in den Sektoren GHD und Industrie. Die Erwerbstätigenzahlen werden daher als primäre Kenngrößen für die Landkreisauswahl festgelegt. Als Hauptmerkmal sollte jeder der drei auszuwählenden Landkreise einen deutlichen Schwerpunkt in der Erwerbstätigenstruktur aufweisen. Analog zur Unterteilung der Erwerbstätigen in der statistischen Erfassung wurden daher die Erwerbstätigenzahlen insbesondere in den drei folgenden Bereichen untersucht:

- produzierendes Gewerbe
- Gewerbe, Handel und Dienstleistung
- Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei

Die Datenbasis zu den Erwerbstätigenzahlen bilden die Veröffentlichungen des bayerischen statistischen Landesamtes zur Erwerbstätigkeit in den Landkreisen Bayerns [6]. Die erste Analyse der Zahlen ergab, dass Landkreise mit besonderer Ausprägung der Erwerbstätigenzahlen in einzelnen Branchen vielfach durch singuläre Merkmale wie Niederlassungen von Großkonzernen geprägt sind. Im produzierenden Gewerbe wick besonders der Landkreis Dingolfing-Landau vom Mittelwert der

Erwerbstätigkeit aller Landkreise ab, da sich dort die Niederlassung eines Großkonzerns mit mehr als 20.000 Beschäftigten befindet. Weitere Beispiele dafür sind der Landkreis Garmisch-Partenkirchen mit sehr ausgeprägter Gaststätten- und Beherbergungsbranche, der Landkreis München, der durch seine unmittelbare Nähe zur Großstadt München in der Summe überdurchschnittlich viele Erwerbstätige aufweist und der Landkreis Freising, in dessen Grenzen sich der Münchner Flughafen befindet. Um eine deutliche Ausprägung des Landkreises mit einzubeziehen und zeitgleich singuläre Merkmale weitestgehend auszuschließen, wurde als obere Grenze der Erwerbstätigenanteile die zweifache Standardabweichung (σ) definiert, der Mittelwert (μ) wurde als untere Grenze festgelegt. Landkreise, deren Grenzen in weiten Teilen mit der deutschen Landesgrenze zusammenfallen wurden von der Auswahl ausgeschlossen, da durch den Grenztourismus Verzerrungen in den Erwerbstätigenzahlen des Landkreises auftreten können. Die folgenden beiden Tabellen enthalten eine Auflistung der Landkreise, deren Anteil der Erwerbstätigenzahlen im produzierenden Gewerbe oder in Gewerbe, Handel und Dienstleistung sich unter ($\mu + 2\sigma$) aber oberhalb ($\mu + \sigma$) befinden.

Tab. 2-1. Landkreise mit hohem Erwerbstätigenanteil im produzierenden Gewerbe im Jahr 2006 ($\mu = 36,7 \%$, $\sigma = 7,7 \%$ -Pkt.).

Landkreis	Erwerbstätigenanteil
Kronach	51,9 %
Miltenberg	48,4 %
Main-Spessart	47,5 %
Haßberge	43,5 %
Donau-Ries	43,4 %
Erlangen-Höchstadt	43,0 %
Ansbach	42,3 %

Tab. 2-2. Landkreise mit hohem Erwerbstätigenanteil in Gewerbe, Handel und Dienstleistung im Jahr 2006 ($\mu = 56,9 \%$, $\sigma = 8,2 \%$ -Pkt.).

Landkreis	Erwerbstätigenanteil
Starnberg	74,3 %
Fürstenfeldbruck	73,3 %
Ebersberg	72,6 %
Erding	71,0 %
Bad Kissingen	70,8 %
Dachau	70,4 %
Landsberg am Lech	68,7 %
Bad Tölz-Wolfratshausen	68,7 %

Da der Anteil der Erwerbstätigen in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei in allen Landkreisen weniger als 15 % beträgt, wird in dieser Gruppe von der zuvor genannten Regel abgewichen und alle Landkreise mit einem Erwerbstätigenanteil über $(\sigma + \mu)$ in die nähere Auswahl übernommen. Die Auflistung dieser Landkreise enthält **Tab. 2-3**.

Tab. 2-3. Landkreise mit hohem Erwerbstätigenanteil in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei im Jahr 2006 ($\mu = 6,3 \%$, $\sigma = 2,5 \%$ -Pkt.).

Landkreis	Erwerbstätigenanteil
Straubing-Bogen	14,4 %
Neustadt an der Aisch	10,9 %
Kitzingen	10,0 %
Schweinfurt	9,9 %
Bayreuth	9,8 %
Forchheim	9,3 %
Bamberg	9,2 %
Landshut	9,1 %
Unterallgäu	8,7 %

2.3 Untersuchung der sekundären Kenngrößen

Die in **Tab. 2-1** bis **Tab. 2-3** aufgelisteten Landkreise bildeten die Kandidaten für den zweiten Schritt der Landkreisauswahl. Nachdem als primäre Kenngröße im ersten Schritt die Erwerbstätigkeit der Landkreise die Auswahl bestimmte, wurden für den zweiten Schritt Kenngrößen aus den folgenden Bereichen definiert:

Verfügbarkeit von Rohstoffen zur Energieerzeugung aus Biomasse:

- Anteil der Ackerlandfläche an der Gesamtfläche des Landkreises
- Anteil der Grünlandfläche an der Gesamtfläche des Landkreises
- Anteil der Waldfläche an der Gesamtfläche des Landkreises
- Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche an der Gesamtfläche

Besiedlungsstrukturen der Landkreise [6]:

- Anzahl der Einwohner des Landkreises
- Größe des Landkreises
- Anzahl der Einwohner je km² Landkreisfläche

Größe der Betriebe des produzierenden Gewerbes im Landkreis [7]:

- Anzahl der Betriebe > 20 Mitarbeiter
- Mittlere Anzahl der Mitarbeiter in Betrieben des produzierenden Gewerbe mit mehr als 20 Mitarbeitern

Wirtschaftliche Situation des Landkreises [8]:

- BIP je Erwerbstätigem zu Marktpreisen im Jahr 2003
- Veränderung des BIP zu Marktpreisen je Erwerbstätigem vom Jahr 1990 bis zum Jahr 2003

Die Gegenüberstellung der Parameter für die Verfügbarkeit der Rohstoffe in den Landkreisen ergab, dass die Landkreise mit gleichem Erwerbstätigkeitsschwerpunkt auch eine ähnliche Tendenz in den Flächenanteilen von Ackerland, Grünland und Waldfläche aufweisen. Diese Korrelation wird für die folgende Zuordnung der drei Rohstoffparameter zu den Erwerbstätigenanteilen verwendet:

Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei	→	hoher Ackerlandanteil
produzierendes Gewerbe	→	hoher Waldanteil
Gewerbe, Handel und Dienstleistung	→	hoher Grünlandanteil

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die Gegenüberstellung der sekundären Parameter der Landkreise, unterschieden nach der primären Kenngröße Erwerbstätigkeit.

Tab. 2-4. Ausprägung der sekundären Kenngrößen in den Landkreisen mit hohem Erwerbstätigenanteil in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei.

	Bamberg	Bayreuth	Forchheim	Kitzingen	Landshut	Neustadt a. d. A.	Schweinfurt	Straubing-Bogen	Unterallgäu
Anzahl Beschäftigte je Betrieb mit mehr als 20 Beschäftigten	109	92	141	108	97	73	58	98	106
Anteil Ackerland an Gesamtfläche in %	39	28	30	51	59	46	54	49	19
Anteil landw. Nutzfläche an Gesamtfläche in %	49	45	49	62	67	59	60	63	63
Einwohner je km ²	123	86	175	130	107	69	139	80	110
Landkreisfläche in km ²	1167	1273	642	684	1348	1429	840	1202	1229
BIP je Erwerbstätiger zu Marktpreisen 2003 (Bayern = 100) ¹	4	4	4	4	3	4	3	3	3

¹ BIP: 1 = 116-189, 2 = 101-115, 3 = 86-100, 4 = 67-85

Tab. 2-5. Ausprägung der sekundären Kenngrößen in den Landkreisen mit hohem Erwerbstätigenanteil im produzierenden Gewerbe.

	Ansbach	Donau-Ries	Erlangen-Höchstadt	Haßberge	Kronach	Main-Spessart	Miltenberg
Anzahl Beschäftigte je Betrieb mit mehr als 20 Beschäftigten	111	153	323	150	107	171	124
Anteil Waldfläche an Gesamtfläche in %	28	26	42	40	59	54	58
Anteil landw. Nutzfläche an Gesamtfläche in %	59	60	40	48	32	35	30
Einwohner je km ²	93	102	230	92	116	100	184
Landkreisfläche in km ²	1972	1275	564	957	651	1321	716
BIP je Erwerbstätiger zu Marktpreisen 2003 (Bayern = 100)	3	3	2	4	4	3	3

Tab. 2-6. Ausprägung der sekundären Kenngrößen in den Landkreisen mit hohem Erwerbstätigenanteil in Gewerbe, Handel und Dienstleistung.

	Bad Kissingen	Bad Tölz-Wolfratshs.	Dachau	Ebersberg	Erding	Fürstfeldbruck	Landsberg am Lech	Starnberg
Anzahl Beschäftigte je Betrieb mit mehr als 20 Beschäftigten	95	88	93	96	67	69	101	109
Anteil Grünland an Gesamtfläche in %	12,6	31,5	11,3	21,9	17,5	12,4	25,7	18,8
Anteil landw. Nutzfläche an Gesamtfläche in %	38	34	70	52	74	61	54	37
Einwohner je km ²	96	106	227	219	136	450	134	259
Landkreisfläche in km ²	1137	1111	579	549	870	435	804	488
BIP je Erwerbstätigem zu Marktpreisen 2003 (Bayern = 100)	4	3	3	3	3	3	4	1

Während der Datenrecherche zu den charakteristischen Daten der Landkreise traten bereits die ersten Schwierigkeiten in der Datenbeschaffung auf. Wie im Abschnitt 1.2 erläutert sind die Einschränkungen durch den Datenschutz auf Landkreisebene gravierend, so dass für die weitere Bearbeitung die Unterstützung seitens der zu untersuchenden Landkreise von erheblichem Interesse war. Aus diesem Grund wurde mit allen 24 Landkreisen der zweiten Auswahlrunde schriftlich Kontakt aufgenommen und die Motivation der Landkreise zur Unterstützung der Untersuchungen abgefragt. Die Reaktionen auf die schriftliche Kontaktaufnahme waren sehr unterschiedlich. Einzelne Landräte bekundeten in ihrem Antwortschreiben ihr reges Interesse für die Untersuchung ihres Landkreises, hingegen andere erst nach zweiter Nachfrage eine Teilnahme ablehnten.

Ausschlaggebend für die Auswahl der drei Landkreise war einerseits die bekundete Motivation zur Unterstützung des Projektes seitens des Landkreises, andererseits sollte sich auch die Ausprägung der sekundären Kenngrößen der Landkreise weitestgehend im oberen Mittelfeld bewegen. Daher fiel die Auswahl auf die folgenden Landkreise mit ihren spezifischen Charakteristika:

Straubing-Bogen

- hoher Erwerbstätigenanteil in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei
- hoher Ackerlandanteil an gesamter Landkreisfläche
- große Landkreisfläche
- dünne Besiedelung
- mittleres BIP

Erlangen-Höchstadt

- hoher Erwerbstätigenanteil im produzierenden Gewerbe
- hoher Waldanteil an gesamter Landkreisfläche
- kleine Landkreisfläche
- dichte Besiedelung
- mittleres BIP

Ebersberg

- hoher Erwerbstätigenanteil in Gewerbe, Handel und Dienstleistung
- hoher Grünlandanteil an gesamter Landkreisfläche
- kleine Landkreisfläche
- dichte Besiedelung
- mittleres BIP

3 Der Heizwärmebedarf der Wohngebäude

3.1 Charakterisierung des Wohngebäudebestands in den drei Landkreisen

3.1.1 Datenbasis zu den Wohngebäuden

3.1.1.1 Erhebungen des statistischen Landesamtes

Die derzeitige Fortschreibung des Wohngebäudebestandes im statistischen Landesamt in Bayern erfolgt auf der Grundlage der Wohnflächenzählung, die 1987 im Rahmen der Volkszählung durchgeführt wurde. Dabei wurden alle Wohneinheiten und die entsprechenden Wohnflächen in Bayern nach den folgenden Merkmalen erfasst:

Gebäudeart

Einfamilienhaus (EFH), Zweifamilienhaus (ZFH), Mehrfamilienhaus (MFH)

Baujahr²

bis 1900, 1901-1918, 1919-1948, 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978, 1979-1983, 1984 und später

Überwiegend verwendeter Heizenergieträger

Gas, Heizöl, Strom, Kohle/Holz

Art der Beheizung

Block- oder Zentralheizung, Etagenheizung, Einzel- oder Mehrraumofenheizung, Fernwärme

In den einzelnen Rubriken sind alle Gebäude mit gleichen Merkmalen zusammengefasst, so dass ein Rückschluss auf die Wohnfläche einzelner Wohneinheiten oder Gebäude nicht möglich ist. Da in den einzelnen Rubriken nur die Anzahl der Wohneinheiten und nicht die Anzahl der Gebäude bekannt ist, kann nur auf die Anzahl der Einfamilien- und Zweifamilienhäuser zurück geschlossen werden. Die Anzahl und Größenstruktur der Mehrfamilienhäuser kann mit den vorhandenen Daten nicht ermittelt werden.

Die Fortschreibung des Gebäudebestands im bayerischen statistischen Landesamt erfolgt durch die jährliche Erfassung der Neubauten und des Gebäudeabgangs in Bayern. Im Gegensatz zur Erfassung der Mehrfamilienhäuser im Rahmen der Wohnflächenzäh-

² Die angegebenen Herstellungszeiträume, die mehrere Baujahre zusammenfassen, werden später als Baualtersklassen bezeichnet.

lung werden in der jährlichen Erfassung seit dem Jahr 1988 auch die Anzahl der Gebäude in den Rubriken Einfamilien-, Zweifamilien- und Mehrfamilienhaus sowie die Anzahl der Wohneinheiten in verschiedenen Größenklassen der Mehrfamilienhäuser erfasst. Änderungen an Gebäuden werden von statistischer Seite nur erfasst, wenn Umwidmungen von Gewerbe- zu Wohngebäuden stattfinden.

3.1.1.2 Gebäudestruktur in den drei Landkreisen

In der nachfolgenden Grafik ist die Verteilung der Wohnflächen auf die verschiedenen Baualtersklassen in den drei betrachteten bayerischen Landkreisen dargestellt. Die Verteilung der Wohnflächen spiegelt den Trend der Zahlen auf nationaler Ebene in Deutschland wider, da sowohl in den 60er und 70er Jahren als auch in den 90er Jahren eine vermehrte Bautätigkeit in allen Landkreisen zu erkennen ist. Insgesamt befinden sich derzeit im Landkreis Ebersberg ca. 29.000 Wohngebäude, im Landkreis Erlangen-Höchstadt 35.000 Wohngebäude und im Landkreis Straubing-Bogen 31.000 Wohngebäude.

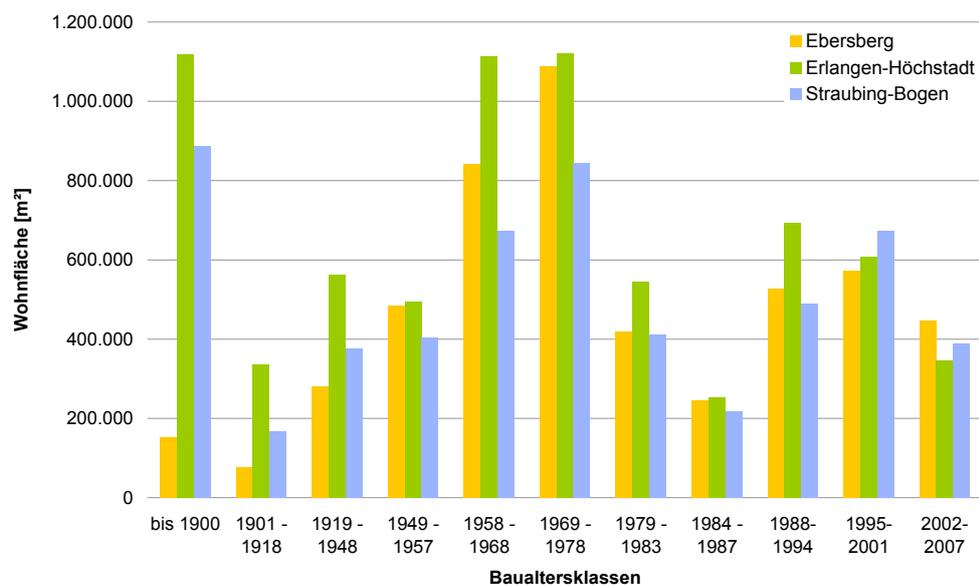


Abb. 3-1. Aufteilung der Wohnflächen auf die verschiedenen Baualtersklassen in den drei untersuchten Landkreisen.

In den folgenden drei Bildern sind die Wohnflächen der Landkreises in den Gebäudetypen EFH, ZFH und MFH je Baualtersklasse dargestellt. Der Vergleich verdeutlicht, dass gravierende Unterschiede in der Gebäudestruktur zwischen allen drei Landkreisen bestehen. Im Landkreis Ebersberg ist der Anteil der Wohnflächen in Zwei- und Mehrfamilienhäusern deutlich höher als in den Landkreisen Straubing-Bogen und Erlangen-Höchstadt. Im Landkreis Straubing-Bogen beträgt der Anteil der Wohnflächen in MFH

in allen Baualtersklassen weniger als ein Drittel der Wohnfläche in den EFH. Obwohl in allen Landkreisen eine vermehrte Bautätigkeit in den 60er, 70er und 90er Jahren erkennbar ist, findet diese in den Landkreisen Erlangen-Höchstadt und Straubing-Bogen hauptsächlich in der Gruppe der Einfamilienhäuser statt.

Der Anteil der Mehrfamilienhäuser ist ein Indikator für die Verfügbarkeit und den Preis von Wohnraum in den betrachteten Gebieten. Im Landkreis Erlangen-Höchstadt ist die Bevölkerungsdichte mit 230 Einwohner/km² zwar höher als im Landkreis Ebersberg mit 219 Einwohner/km², der vergleichsweise geringe Anteil an Einfamilienhäusern im Landkreis Ebersberg deutet jedoch auf die unmittelbare Nähe zur Großstadt München mit höheren Grundstückspreisen hin. Die Wohnflächenstruktur im Landkreis Erlangen-Höchstadt verdeutlicht, dass sowohl ländliche, als auch stadtnahe Gebiete innerhalb des Landkreises vorhanden sind, der sich in unmittelbarer Nähe zum Ballungsraum Nürnberg befindet. Die Wohnflächenstruktur im Landkreis Straubing-Bogen weist eindeutig auf eine ländliche Struktur der Wohnflächen hin, die durch ein ausreichendes Platzangebot und niedrige Grundstückspreise gekennzeichnet ist.

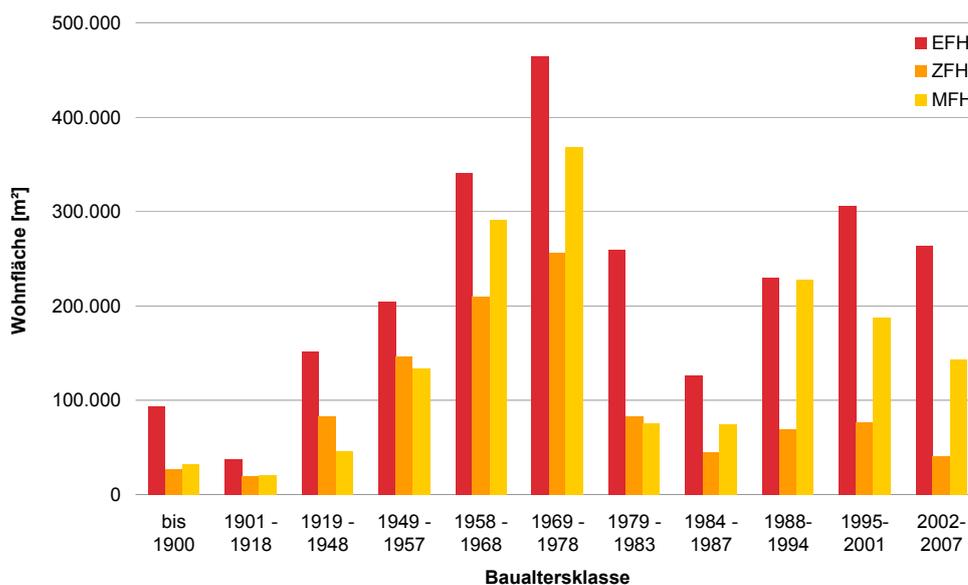


Abb. 3-2. Verteilung der Wohnflächen auf die verschiedenen Gebäudetypen im Landkreis Ebersberg.

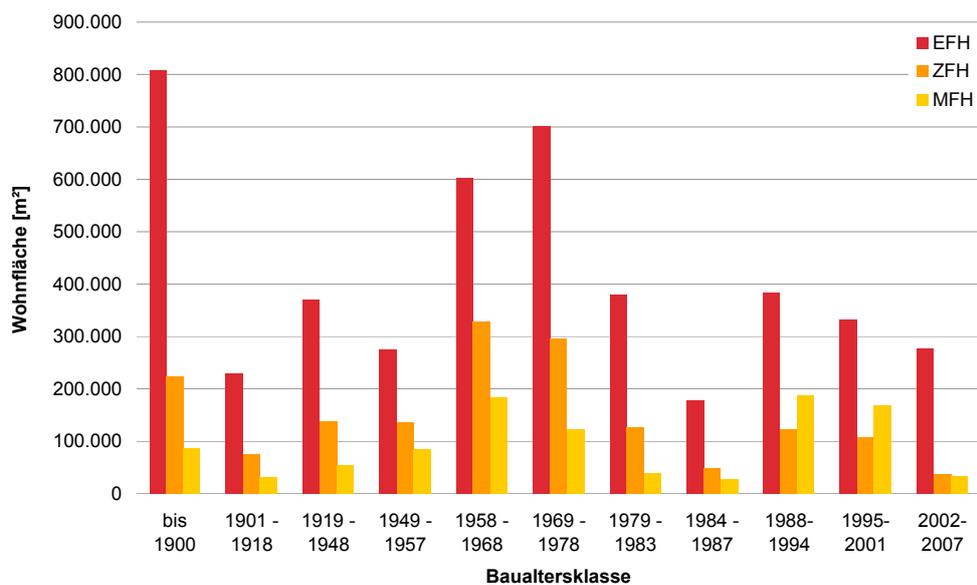


Abb. 3-3. Verteilung der Wohnflächen auf die verschiedenen Gebäudetypen im Landkreis Erlangen-Höchstadt.

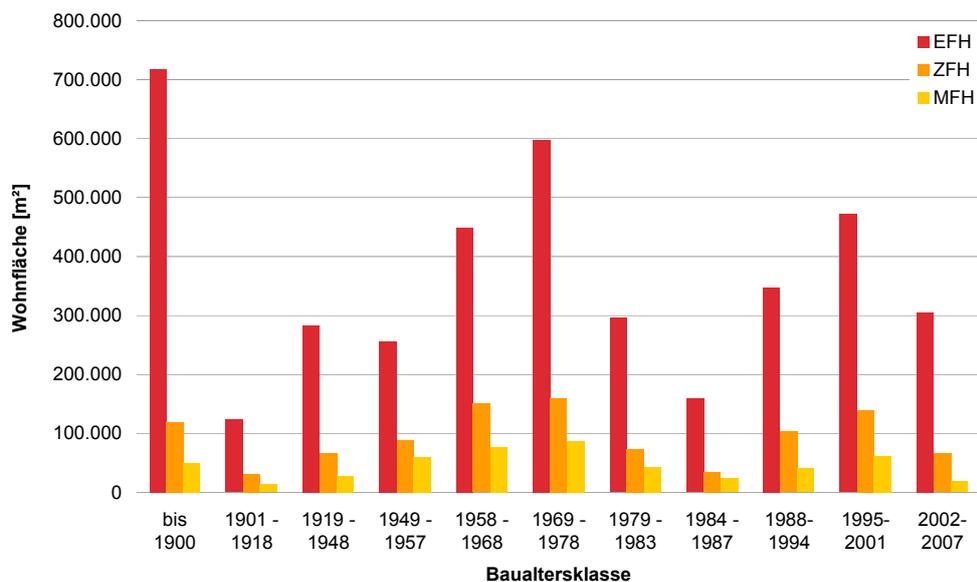


Abb. 3-4. Verteilung der Wohnflächen auf die verschiedenen Gebäudetypen im Landkreis Straubing-Bogen.

3.1.1.3 Wohnflächenentwicklung in den drei Landkreisen

Ebenso wie die Verteilung der Wohnflächen auf die unterschiedlichen Gebäudetypen variiert die durchschnittliche Wohnfläche je Einwohner in den drei Landkreisen sehr stark. Aufgrund des hohen Anteils an Mehrfamilienhäusern, in denen die Wohnfläche je

Bewohner in der Regel deutlich weniger beträgt als die Wohnfläche je Einwohner in einem Einfamilienhaus, ist die durchschnittliche Wohnfläche im Landkreis Ebersberg geringer als in den beiden anderen Landkreisen. Die durchschnittliche Wohnfläche in Bayern lag im Jahr 2008 mit 44,3 m² [9] über dem deutschlandweiten Durchschnitt von 42,2 m² [10]. **Abb. 3-5** verdeutlicht die Auswirkungen des hohen Anteils an Einfamilienhäusern in den Landkreisen Straubing-Bogen und Erlangen-Höchstadt, da dort die Wohnflächen je Einwohner im Gegensatz zum Landkreis Ebersberg deutlich über dem bayerischen Durchschnitt liegen.

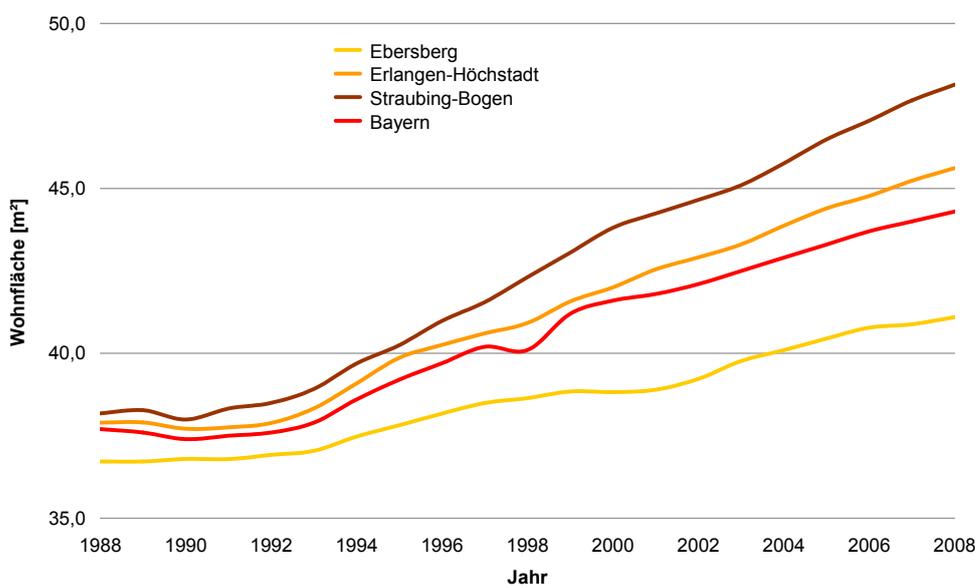


Abb. 3-5. Entwicklung der durchschnittlichen Wohnfläche je Einwohner in den drei Landkreisen und in Bayern seit 1988.

Der konstante Anstieg an Wohnfläche je Einwohner in allen Landkreisen ist auf den steigenden Anteil von Ein- und Zweipersonen-Haushalten in der Gesellschaft zurückzuführen. Deutschlandweit steigerte sich der Anteil der Einpersonenhaushalte von 34,9 % in Jahr 1995 auf 37,9 % im Jahr 2006, die Zahl der größeren Haushalte ist dagegen gesunken [11].

3.1.2 Charakterisierung des Gebäudebestands durch die deutsche Gebäudetypologie

Bei alleiniger Betrachtung des baulichen Anteils erfordert die Bestimmung des Energiebedarfs für Raumwärme in den Gebäuden der Landkreise neben den zuvor erläuterten Daten detaillierte Informationen über die einzelnen Bauteile der wärmeübertragenden Hülle der Gebäude. Von wesentlicher Bedeutung sind dabei die Flächen der Bauteile Wand, Dach (oberer Gebäudeabschluss), Kellerdecke/Bodenplatte (unterer Gebäude-

abschluss) und Fenster, sowie ihre Schichtung und damit ihre bauphysikalische Qualität bei der Übertragung von Wärme durch den Querschnitt des Bauteils. Die Kenntnis des Baujahres liefert wichtige Hinweise auf die Qualität des Bauteils, da sich die Verfügbarkeit von Baustoffen, der Stand der Technik sowie die geltenden Vorschriften in den verschiedenen Bauphasen in Bauweise und Qualität der überwiegenden Anzahl der Gebäude widerspiegeln.

Diese Kenntnis bildete Anfang der 90er Jahre die Grundlage für die Klassifizierung des gesamten deutschen Wohngebäudebestands, die vom Institut für Wohnen und Umwelt im Auftrag der Enquête-Kommission des deutschen Bundestages zum „Schutz der Erdatmosphäre“ durchgeführt wurde [13]. Ähnlich der Einteilung des statistischen Bundesamtes in die im Kapitel 3.1.1.1 aufgelisteten Zeiträume wurde der deutsche Gebäudebestand dabei nach Gebäudegröße und Gebäudealter in Gebäudeklassen eingeteilt, die jeweils durch ein repräsentatives Typgebäude beschrieben werden. Das Typgebäude ist dabei ein fiktives Gebäude, welches die geometrischen und bauphysikalischen Gegebenheiten der Gebäude einer Gebäudegruppe widerspiegelt. Die folgende Abbildung enthält einen Ausschnitt aus der Darstellung der Typgebäude der deutschen Gebäudetypologie.

Baualtersklasse			EFH	RH	MFH	GMH
A	vor 1918	Fachwerk	EFH_A		MFH_A	
B	vor 1918		EFH_B	RH_B	MFH_B	GMH_B
C	1919-1948		EFH_C	RH_C	MFH_C	GMH_C
D	1949-1957		EFH_D	RH_D	MFH_D	GMH_D

Abb. 3-6. Ausschnitt aus der Systematik der deutschen Gebäudetypologie [13].

Zusätzlich zur optischen Darstellung, werden in der deutschen Gebäudetypologie für alle Typgebäude ausführliche geometrische und bauphysikalische Kennwerte definiert, die für Hochrechnungen des Energiebedarfs erforderlich sind.

Die Gebäudetypologie wurde seit den 90er Jahren in verschiedenen Arbeiten weiterentwickelt und in der Systematik vereinfacht. Für Hochrechnungen des Energiebedarfs bildet sie ein geeignetes Mittel zur qualitativen Beschreibung der Gebäudehülle von Gebäuden verschiedener Altersklassen, die noch nicht nachträglich wärmedämmend wurden. Die Anwendung der Gebäudetypologie ist ursprünglich für Hochrechnungen des Heizwärme- oder Endenergiebedarfs des gesamten deutschen Gebäudebestands vorgesehen. Nachfolgend werden die Systematik der Gebäudetypologie sowie die Kennwerte der Typgebäude aufgeführt.

Gebäudetypen

- Einfamilienhäuser (EFH), 1-2 Wohneinheiten
- Reihenhäuser (RH), 1-2 Wohneinheiten
- Kleine Mehrfamilienhäuser (MFH), 3-4 Wohneinheiten
- Große Mehrfamilienhäuser (GMH), 5-48 Wohneinheiten
- Hochhäuser (HH), > 48 Wohneinheiten

Die Einteilung der Gebäude in Baualterklassen erfolgt nach einschneidenden Veränderungen in der historischen Entwicklung, sowie nach dem Inkrafttreten maßgebender Verordnungen im Wohnungsbau [16].

Baualterklassen

- bis 1918 Gründung der Weimarer Republik
- 1919-1948 Zeitraum bis zur Gründung der Bundesrepublik
- 1949-1956 Nachkriegsjahre mit Materialmangel
- 1957-1968 Einführung der DIN 4108
- 1969-1977 Ergänzung der DIN 4108
- 1978-1983 Einführung 1. Wärmeschutzverordnung
- 1984-1994 Einführung 2. Wärmeschutzverordnung
- 1995-2002 Einführung 3. Wärmeschutzverordnung
- 2002-heute Einführung der EnEV (4. Wärmeschutzverordnung)

Die Eigenschaften der definierten Typgebäude berücksichtigen die typische Bauweise und Qualität während der Herstellungszeit und liefern damit detaillierte Informationen über die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäude verschiedener Baualterklassen. Für die Typgebäude enthält die Gebäudetypologie die folgenden Kennwerte:

Geometrische Kennwerte

- Beheizte Wohnfläche
- mittlere lichte Raumhöhe
- beheiztes Gebäudevolumen nach EnEV
- Anzahl der Vollgeschosse, Anzahl der Wohneinheiten

Bauphysikalische Kennwerte für opake Bauteile

- Konstruktionsbeschreibung
- Bauteilfläche
- U-Wert im Ist-Zustand

Bauphysikalische Kennwerte für transparente Bauteile

- Konstruktionsbeschreibung
- Bauteilfläche

- U-Wert (ganzes Fenster)
- Gesamtenergiedurchlassgrad (senkrechter Strahlungseinfall)
- Reduktionsfaktor bei nicht-senkrechter Einstrahlung

Für die drei betrachteten Landkreise bietet sich zur Charakterisierung des Gebäudebestands eine Verwendung der überarbeiteten deutschen Gebäudetypologie aus mehreren Gründen an. Zum einen befinden sich die drei betrachteten Landkreise ebenso wie der überwiegende Teil des deutschen Gebäudebestands in Regionen mit gemäßigten klimatischen Verhältnissen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Bauweise des Gebäudebestands in den drei Landkreisen keinen besonderen Einflüssen unterliegt. Obwohl die wirtschaftliche Entwicklung der drei Landkreise während des 20. Jahrhunderts sehr unterschiedlich war und damit auch in der Qualität der Bauweise Unterschiede feststellbar sein müssten, sind durch die hohe Anzahl an Querschnittstechnologien bei der Herstellung der Gebäude keine gravierenden Unterschiede zu erwarten. Darüber hinaus liegen detaillierte statistische Erfassungen über die Flächen im Wohngebäudebestand der Landkreise vor, die eine Anpassung der Gebäudetypologie auf die regionalen Gegebenheiten ermöglichen. Die Charakterisierung der Wohngebäude der drei Landkreise wird daher auf Basis der Gebäudetypologie vorgenommen. Dazu werden die Eigenschaften der Typgebäude den Gebäuden gleichen Baujahrs und gleichen Gebäudetyps in den Landkreisen zugewiesen.

3.1.3 Regionale Anpassung der Gebäudetypen

3.1.3.1 Anpassung der Wohnflächen

In der Berechnung des Heizwärmebedarfs für ein Gebäude stellen die Flächen der wärmeübertragenden Hülle eine zentrale Größe dar, da sich die Transmissionsverluste der Gebäudehülle proportional zu den Flächen der Gebäudehülle verhalten. Die Auswirkungen zu groß oder zu klein angenommener Flächen sind enorm und können das Ergebnis stark verfälschen.

Die statistischen Daten zur Anzahl der Wohneinheiten je Gebäude und zur mittleren Größe der Wohneinheiten in den Landkreisen unterscheiden sich von den Kennwerten der Typgebäude der Gebäudetypologie erheblich, da die deutsche Gebäudetypologie den deutschen Gebäudebestand widerspiegelt und die Gesamtheit von ca. 18 Mio. Wohngebäuden repräsentiert. Bei Verwendung der Gebäudetypologie als Basis für die Hochrechnung des Heizwärmebedarfs in den Wohngebäuden der Landkreise sind somit zusätzliche Informationen darüber notwendig, wie oft und in welcher Größe einzelne Gebäudetypen innerhalb des betrachteten Gebäudebestands vorkommen. Dies wird deutlich, wenn man z.B. die Wohnfläche der Ein- und Zweifamilienhäuser der Baualtersklasse 1919-1948 im Landkreis Ebersberg summiert. Sie beträgt in

1.696 Gebäuden 171.647 m². Legt man in den 1.969 Gebäuden als Wohnfläche die unveränderte Flächenangabe der deutschen Gebäudetypologie zugrunde, so beträgt die Summe der Wohnfläche der Ein- und Zweifamilienhäuser dieser Baualterklasse 466.400 m² und damit das 2,7-fache der vorhandenen Wohnfläche. Zur Vermeidung von Verfälschungen des Ergebnisses bei der Hochrechnung des Heizwärmebedarfs und zur Berücksichtigung von regionalen Gegebenheiten des jeweiligen Wohngebäudebestands ist somit eine Anpassung der Flächenkennwerte der Gebäudetypologie an die bekannten statistischen Daten aus den Landkreisen erforderlich.

Da eine statistische Erfassung der Wohnflächen in den drei Landkreisen vorliegt, bietet es sich an, die Wohnflächen der Typgebäude an die mittlere Wohnfläche der Gebäude je Baualterklasse aus der Statistik anzupassen. Die statistischen Daten werden dazu gemäß den Baualterklassen der Gebäudetypologie zusammengefasst und bei der Ermittlung der mittleren Wohnfläche entsprechend gewichtet.

Die folgende Tabelle enthält die mittleren Wohnflächen der Wohneinheiten in EFH, ZFH und MFH der Landkreise, unterschiedenen nach Baualterklassen und Gebäudetypen:

Tab. 3-1. Mittlere Wohnfläche der Wohneinheiten in EFH, ZFH und MFH in den drei betrachteten Landkreisen in [m²].

Baualterklasse	Ebersberg			Erlangen-Höchstadt			Straubing-Bogen		
	EFH	ZFH	MFH	EFH	ZFH	MFH	EFH	ZFH	MFH
bis 1918	85	54	64	516	258	203	230	113	112
1918-1948	145	114	96	299	143	114	142	78	136
1949-1957	157	122	148	171	93	82	150	95	108
1957-1968	105	85	83	211	115	63	158	90	108
1969-1978	98	162	74	124	104	49	183	86	174
1979-1983	131	139	76	117	89	74	160	102	243
1984-1994	133	99	74	125	91	71	146	106	104
1995-2001	140	103	70	136	102	70	149	108	79
2002-2008	146	111	79	142	103	83	152	113	81

Beim Vergleich der Werte fällt auf, dass die durchschnittlichen Wohnflächen aller Gebäude im Landkreis Erlangen-Höchstadt der Baujahre bis 1918, sowie die der Einfamilienhäuser der Baualterklasse zwischen 1919-1948, sehr groß sind. Gründe für diese Abweichung können einerseits statistische Ungenauigkeiten sein, andererseits könnte die Grundfläche einiger Bauernhäuser, die als Mehrgenerationenhäuser zumeist mehrere Familien beherbergen, den Wert nach oben treiben. In der Regel wird die Wohnfläche in diesen Gebäuden nicht vollständig beheizt. Vielmehr wird in diesen Ge-

bäuden nur in einzelnen Räumen während der Heizperiode kontinuierlich eine Temperatur von 20 °C aufrechterhalten. Die Wohnfläche dieser Gebäude wird daher in der Berechnung mit niedrigeren Werten berücksichtigt. (EFH 1918: 195 m², EFH 1919-1948: 180 m²)

3.1.3.2 Anpassung der Bauteilflächen in den Ein- und Zweifamilienhäusern

Zwischen der Wohnfläche und der wärmeübertragenden Hüllfläche eines Gebäudes besteht in Abhängigkeit von der Kompaktheit eines Gebäudes ein mathematischer Zusammenhang. Dieser wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Kurzverfahren Energieprofil“ [4] durch das Institut für Wohnen und Umwelt an einer Gebäuestichprobe von mehr als 4000 Wohngebäuden analysiert und ausgewertet. Ziel der Auswertung war die Entwicklung eines einfachen, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Abschätzung von Bauteilflächen für die Berechnung des Heizwärmebedarfs von Bestandsgebäuden. Das entwickelte Flächenschätzverfahren ermöglicht die Abschätzung der Bauteilflächen in der wärmeübertragenden Hülle anhand weniger Grunddaten. Der Zusammenhang zwischen den Bauteilflächen der wärmeübertragenden Hülle und der beheizten Wohnfläche ist nicht linear, zudem verkleinert sich der Verhältniswert zwischen Wohnfläche und Hüllfläche insbesondere bei kleinen Gebäuden mit sinkender Wohnfläche besonders stark, so dass eine Skalierung der Flächenkennwerte der Gebäudetypologie insbesondere für kleine Gebäude zu unsicheren Ergebnissen führt. Für die Typgebäude der Ein- und Zweifamilienhäuser in den drei betrachteten Landkreisen wird daher die Bestimmung der Bauteilflächen mit dem Flächenschätzverfahren vorgenommen. Dies erfolgt auf der Grundlage der regional vorhandenen mittleren Wohnflächen und den in der Typologie definierten Parametern. Die Ermittlung der Bauteilflächen mit dem Flächenschätzverfahren wird nachfolgend am Beispiel des Typgebäudes EFH-C aus dem Landkreis Ebersberg dargestellt:

Randbedingungen:

Anzahl Wohnungen	1
Anzahl Vollgeschosse	$n_{VG} = 1,0$
Beheizte Wohnfläche	$A_W = 145 \text{ m}^2$
Direkt angrenzende Nachbargebäude	$n_{Nachbar} = 0$
Grundrissform	$T_{GR} = \text{„K“ (kompakt)}$
Teilbeheizungsgrad Dach	$f_{TB,DG} = 100 \%$
Teilbeheizungsgrad Keller	$f_{TB,KG} = 0 \%$

Bestimmung der Zahl der beheizten Geschosse:

$$n_G = f_{TB,KG} + n_{VG} + 0,75 \cdot f_{TB,DG} = 0 + 1 + 0,75 \cdot 1 = \underline{1,75} [-]$$

mit $n_{VG} = 1,0$ Anzahl Vollgeschosse

Bestimmung der Wohnfläche pro Geschoss $A_{W/G}$:

$$A_{W/G} = \frac{A_W}{n_G} = \frac{145}{1,75} = \underline{82,9 \text{ m}^2}$$

Abschätzung der Fläche des unteren Gebäudeabschlusses A_{FB} :

$$A_{FB} = p_{Fb} \cdot A_{W/G} = 1,33 \cdot 82,9 = \underline{110,2 \text{ m}^2}$$

mit $p_{Fb} = 1,33$ Parameter Fußbodenfläche pro m^2 Geschosswohnfläche [m^2/m^2]

Abschätzung der Flächen des oberen Gebäudeabschlusses A_{Da} und A_{DG} :

Dachfläche:

$$A_{Da} = f_{Ga} \cdot p_{Da} \cdot A_{W/G} = 1,0 \cdot 1,50 \cdot 82,9 = \underline{124,3 \text{ m}^2}$$

mit $f_{Ga} = 1,0$ Korrekturfaktor für Gauben [m^2/m^2]
 $p_{Da} = 1,5$ Parameter Dachfläche pro m^2 Geschosswohnfläche [m^2/m^2]

Abschätzung der Fassadenfläche pro Geschoss A_{Fa} :

$$A_{Fa} = \frac{h_R}{2,5 \text{ m}} \cdot (p_{Fa} \cdot A_{W/G} + q_{Fa}) = \frac{2,75}{2,5} \cdot (0,66 \cdot 82,9 + 50) = \underline{115,2 \text{ m}^2}$$

mit $p_{Fa} = 0,66$ Parameter Fassadenfläche pro m^2 Geschosswohnfläche [m^2/m^2]
 $q_{Fa} = 50$ Parameter „Zuschlagsfläche Fassade je Vollgeschoss“ [m^2/m^2]
 $h_R = 2,75$ lichte Raumhöhe (Mittelwert über alle Vollgeschosse). Nur anzugeben, wenn h_R kleiner als 2,3 m oder größer als 2,7 m ist; ansonsten kann vereinfachend ein Standardwert von 2,5 m verwendet werden [m]

Abschätzung der Fensterflächen A_{Fe} :

$$A_{Fe} = p_{Fe} \cdot A_W = 0,2 \cdot 145 = \underline{29 \text{ m}^2}$$

mit $p_{Fe} = 0,2$ Parameter Fensterfläche pro m^2 Wohnfläche [m^2/m^2]

Abschätzung der Außenwandflächen A_{AW} :

$$A_{AW} = n_G \cdot A_{Fa} - A_{AWK} - A_{Fe} = 1,75 \cdot 115,2 - 0 - 29,0 = \underline{\underline{172,6 \text{ m}^2}}$$

Abschätzung des beheizten Gebäudevolumens V_e :

$$V_e = 4 \cdot A_W \cdot \frac{h_R}{2,5} = 4 \cdot 145 \cdot \frac{2,75}{2,5} = \underline{\underline{638 \text{ m}^3}}$$

Abschätzung des Luftvolumens V_L :

$$V_L = A_W \cdot 2,5 = 145,0 \cdot 2,50 = \underline{\underline{362,5 \text{ m}^3}}$$

Für den Gebäudetyp Reihenhäuser liegen auf regionaler Ebene keine statistischen Erfassungen vor, die eine Anpassung der Bauteil- und Wohnflächen der typisierten Gebäude ermöglichen. Der Anteil der Reihenhäuser wird daher auf Grundlage des mittleren Anteils in Deutschland angenommen [17] und aus der Menge der Einfamilienhäuser ermittelt. Die Wohnfläche der Reihenhäuser wird von den Einfamilienhäusern der jeweiligen Baualtersklasse übernommen. Die Anpassung der Bauteilflächen erfolgt wie bei den Ein- und Zweifamilienhäusern über das Flächenschätzverfahren.

In der deutschen Gebäudetypologie umfasst der Gebäudetyp Einfamilienhaus alle Gebäude mit bis zu zwei Wohneinheiten. Da der Anteil der Zweifamilienhäuser in den drei Landkreisen unterschiedlich groß ist und eine Abgrenzung der Gebäudetypen gemäß den statistischen Daten erreicht werden soll, wird der Gebäudetyp der Zweifamilienhäuser auf Grundlage der Gebäudedaten der Einfamilienhäuser neu eingeführt. Dabei werden den Zweifamilienhäusern die gleichen bauphysikalischen Kennwerte wie den Einfamilienhäusern zugeordnet. Die Flächenkennwerte werden auf Basis der mittleren Wohnflächen mittels Flächenschätzverfahren ermittelt.

3.1.3.3 Anpassung der Bauteilflächen bei den Mehrfamilienhäusern

Die Gruppe der Mehrfamilienhäuser umfasst sämtliche Wohngebäude, die mehr als zwei Wohneinheiten enthalten. Damit stellt sie ein Sammelbecken für die unterschiedlichsten Gebäude dar, deren Typisierung nur durch starke Vereinfachungen erreicht werden kann. Dies verdeutlicht die Unterscheidung der Mehrfamilienhäuser in der deutschen Gebäudetypologie in nur drei Gruppen, von denen die Gruppe der großen Mehrfamilienhäuser mit 5-48 Wohneinheiten die größte Menge an unterschiedlichen Gebäudetypen beinhaltet. Die Typisierung dieser Gruppe erfolgt dabei je Baualtersklasse mit nur einem Typgebäude.

Über die Größenstruktur der Mehrfamilienhäuser mit den Baujahren bis 1987 liegen aus der Wohnflächenzählung keine Informationen vor. Die Erfassung der Mehrfamilienhäuser nach Anzahl der Wohneinheiten und Wohnfläche in unterschiedlichen Gruppen

erfolgt erst seit dem Jahr 1988. Da sich im Gegensatz zu den Einfamilienhäusern das Verhältnis zwischen Wohnfläche und Bauteilflächen mit zunehmender Größe der Mehrfamilienhäuser weniger stark ändert, und exakte Informationen über die Größenstruktur der Mehrfamilienhäuser fehlen, werden die Verhältnisse zwischen Wohn- und Bauteilflächen der Mehrfamilienhäuser aus der deutschen Gebäudetypologie übernommen. Zur Anpassung an die regional vorhandene mittlere Wohnfläche je Wohneinheit in Mehrfamilienhäusern werden die Typgebäude in eine fiktive Einzelwohneinheit umgewandelt, die dann auf die Größe der durchschnittlichen Wohneinheit des jeweiligen Landkreises skaliert wird.

Im Ergebnis entsteht damit für jeden Landkreis eine spezifische Gebäudetypologie, die die regionalen Besonderheiten der Flächenverteilung berücksichtigt und eine in allen Landkreisen einheitliche qualitative Beschreibung der Gebäude vorsieht.

3.2 Methodenentwicklung zur Beschreibung des Lebenszyklus der Gebäude in den Landkreisen

Die Charakterisierung der bauphysikalischen Qualität eines Gebäudes über das Baujahr ermöglicht eine Bestimmung des Heizwärmebedarfs nur für einen begrenzten Zeitraum, beginnend mit der Herstellung des Gebäudes. Auslöser für Veränderungen in der bauphysikalischen Qualität der wärmeübertragenden Hülle sind in der Regel der Ausfall von Bauteilen oder Instandhaltungsmaßnahmen, überwiegend bedingt durch den altersbedingten Verschleiß. Weitere Gründe für die Durchführung von Veränderungen an der Gebäudehülle können ein Eigentümerwechsel oder die Einführung neuer Vorschriften sein. Daher sind Annahmen über die Veränderungen der wärmeübertragenden Hülle während der Lebensdauer eines Gebäudes von entscheidender Bedeutung für die Bestimmung seines Heizwärmebedarfs und müssen bei der Betrachtung der zeitlichen Entwicklung des Heizwärmebedarfs der Wohngebäude in den Landkreisen miteinbezogen werden.

3.2.1 Technische Lebensdauer von Bauteilen

Von der Herstellung eines Gebäudes an besteht dieses nur so lange in seinem ursprünglichen Zustand, bis sich die erste Veränderung eines Bauteils innerhalb der wärmeübertragenden Hülle ereignet. In der Regel ist dieser Zeitpunkt durch das Erreichen der technischen Lebensdauer des entsprechenden Bauteils bestimmt.

Die technische Lebensdauer eines Bauteiles beschreibt den Zeitraum, in dem das Bauteil die ihm zugeordnete Funktion innerhalb des Bauwerks ohne Einschränkungen erfüllt. Diese Zeiträume variieren je nach Art des Bauteils sehr stark. Die Lebensdauer einer Dachhaut bewegt sich beispielsweise zwischen 20 und 30 Jahren, während der Außenputz an der Fassade von Gebäuden 40 bis 60 Jahren lang seine Funktion erfüllen kann. Die genannten Zeiträume verdeutlichen zugleich, dass die Lebensdauer von Bauteilen gleicher Bauart ebenfalls erheblich schwanken kann.

Wichtige Entscheidungen über die Lebensdauer eines Bauteils werden bereits bei der Detailplanung und der Auswahl der Baustoffe getroffen. Spielte in den 90er Jahren die kostengünstige Herstellung im Wohnungsbau eine größere Rolle als die Qualität der verwendeten Baustoffe, so hat die Lebensdauer von Bauteilen im Rahmen der Nachhaltigkeitsbetrachtung von Bauwerken in den letzten Jahren einen höheren Stellenwert erhalten. Eine Reduzierung des Stoffverbrauchs ist dabei ebenso erwünscht wie die Umweltverträglichkeit und ein einfaches Recycling der eingesetzten Baustoffe beim späteren Abbruch der Bauteile.

Weitere Einflüsse auf die technische Lebensdauer von Bauteilen finden sich in der Phase der Herstellung von Gebäuden. Zeit- und Kostendruck sind vielfach ursächlich

für das Entstehen von Mängeln an Bauteilen, die zu einem erhöhten Aufwand an Instandhaltungsmaßnahmen oder zum vorzeitigen Versagen von Bauteilen führen.

Auch wenn in der Planung und Herstellung eines Gebäudes Fehler vermieden werden, so beeinflusst doch das Verhalten der Nutzer oder die Beanspruchung durch Umwelteinwirkungen die technische Lebensdauer von Bauteilen während der folgenden Zeit. In diesem Zusammenhang ist auch die Instandhaltung des Gebäudes zu nennen, bei deren Vernachlässigung oder falscher Durchführung frühzeitiger Verschleiß und Bauschäden die Folge sein können.

Neben den genannten Einflüssen auf die Lebensdauer von Bauteilen können auch unvorhersehbare Ereignisse eine Veränderung der wärmetechnischen Hülle eines Gebäudes hervorrufen. Ein Beispiel dafür ist der Eigentümerwechsel eines Gebäudes, der zumeist mit einer Anpassung des Gebäudes an die Vorstellungen des neuen Eigentümers verbunden ist. Unvorhersehbare Veränderungen an der Gebäudehülle finden in einzelnen Fällen auch vor Ablauf der Lebensdauer statt, wenn Energieeinsparbestrebungen zu Sanierungen an der Gebäudehülle veranlassen. Typisch für dieses Bestreben ist die Dämmung von Kellerdecken, welche in der Regel nur als tragendes Bauteil wirkt und keiner direkten Bewitterung ausgesetzt ist. Vollständige Sanierungen von Gebäuden aus Energieeinsparbestrebungen treten selten vor Ablauf der Lebensdauer von Bauteilen auf. Findet jedoch eine vollständige Gebäudesanierung statt, so werden dabei häufig Bauteile „mitsaniert“ deren Lebensdauer noch nicht überschritten ist, die aber durch den Eingriff in das Zusammenwirken der Bauteile verändert werden müssen. In diesem Sinne sind ein Teil der durchgeführten Sanierungen ebenfalls unvorhersehbare Ereignisse.

3.2.2 Stochastische Beschreibung der Lebensdauer von Bauteilen

Aus mathematischer Sicht wird mit der Lebensdauer der Zeitraum beschrieben, der bis zum Eintreten eines bestimmten Ereignisses andauert. Dieses als Ausfall bezeichnete Ereignis ist ein zufallsbeeinflusstes Phänomen, dessen zeitliche Einschätzung immer mit einer Restunsicherheit verbunden ist. Zur Beschreibung dieses Zufallverhaltens existieren in der Stochastik diverse theoretische Verteilungsmodelle, die zu den stetigen Wahrscheinlichkeitsverteilungen gehören.

Die Auswahl der geeigneten Verteilungsfunktion für die betrachtete Lebensdauer ist von den Einflüssen abhängig, durch die das Ausfallverhalten während der Lebensdauer charakterisiert wird. Im Fall der technischen Lebensdauer charakterisieren viele verschiedene Einflussgrößen das Ausfallverhalten. Zu Beginn und zum Ende der Lebensdauer ist die Ausfallrate besonders hoch, hingegen ist sie in der mittleren Zeitspanne niedrig und konstant, bis sie gegen Ende der Lebensdauer wieder ansteigt. In **Abb. 3-7** ist das Ausfallverhalten von Bauteilen in den verschiedenen Phasen der

Lebensdauer grafisch aufgetragen. Da der Verlauf der Kurve in seiner Form an eine Badewanne erinnert, wird sie als „Badewannenkurve“ bezeichnet.

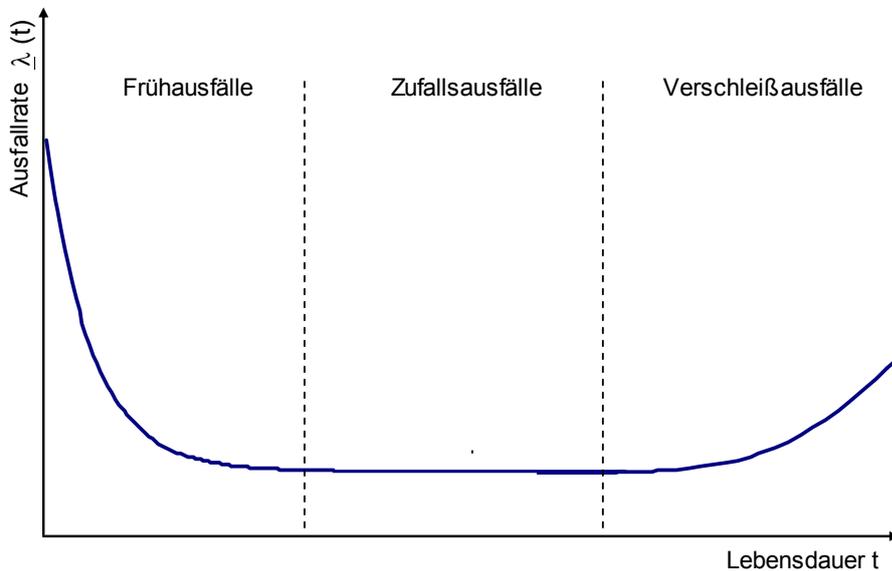


Abb. 3-7. Qualitativer Verlauf der Badewannenkurve.

Gründe für die hohe Ausfallrate zu Beginn der technischen Lebensdauer finden sich in den Fröhausfällen durch Mängel in der Herstellung oder in den verwendeten Werkstoffen. Im anschließenden Zeitraum mit relativ konstanter und niedriger Ausfallrate funktionieren die meisten Bauteile zuverlässig und es ereignen sich nur einzelne Zufallsausfälle. Gegen Ende der technischen Lebensdauer steigt die Ausfallrate wieder an, da nun Alter und Verschleiß der Bauteile ein vermehrtes Versagen verursachen. Die oben dargestellte Kurve beschreibt das Ausfallverhalten vieler technischer Bauteile, ein typisches Beispiel für das Ausfallverhalten in Form der Badewannenkurve bildet die Glöhbirne.

Die Beschreibung der technischen Lebensdauer der Bauteile in der Hölle von Gebäuden durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermöglicht es, die Ausfallzeitpunkte der Bauteile zu berechnen und so den Lebenszyklus der Gebäude bestimmen zu können. Aufbauend darauf kann durch die Kenntnis des Sanierungszeitpunktes die Qualität des wärmetechnisch sanierten Bauteils gemäß den zu diesem Zeitpunkt geltenden Anforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilen abgeschätzt werden.

3.2.2.1 Beschreibung der Lebensdauersanierungen durch die Normalverteilung

Die detaillierte Beschreibung der technischen Lebensdauer von Bauteilen mit der Badewannenkurve setzt umfangreiche Kenntnisse über die Einflussfaktoren auf das

Ausfallverhalten der Bauteile voraus. Zu den Bauteilen der wärmeübertragenden Hülle in den Wohngebäuden der Landkreise fehlen jedoch die Informationen zu den einzelnen Einflussparametern, die den Verlauf der Ausfälle charakterisieren. Die einzige vorhandene Information zu den Gebäuden der Landkreise ist ihr Baujahr. Die Erstellung einer Verteilungsfunktion für die Ausfälle der Bauteile, die sich spezifisch auf die Bauteile der Gebäude der drei Landkreise bezieht und der Badewannenkurve ähnelt, ist daher nicht möglich.

Eine Verteilung, zu deren Verwendung nur zwei Parameter bekannt sein müssen und die darüber hinaus viele Zufallsphänomene zumindest näherungsweise beschreibt, ist die Normalverteilung. Die erforderlichen Parameter zur Verwendung der Normalverteilung sind der Erwartungswert und die Standardabweichung. In Hinblick auf die Bauteile bildet der Erwartungswert die mittlere technische Lebensdauer eines Bauteils ab. Die Standardabweichung σ kann aus der minimal und maximal zu erwartenden Lebensdauer berechnet werden, da angenommen wird, dass sich 99,7 % der Ausfälle innerhalb des Zeitabschnittes von $(6 \cdot \sigma)$ ereignen.

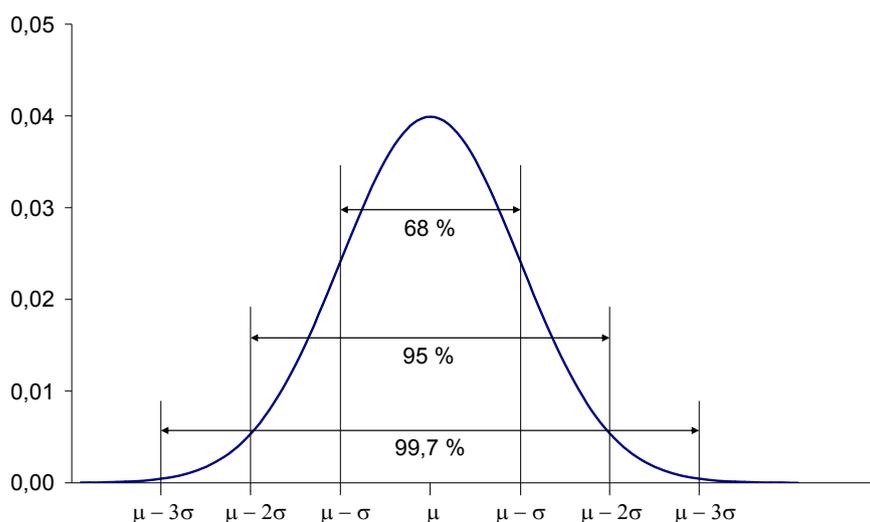


Abb. 3-8. Normalverteilung mit beliebigen Werten μ und σ .

Dichtefunktion der Normalverteilung
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < \infty$$

Eine Modellierung von Lebenszyklen mithilfe der Normalverteilung stellt gegenüber einer Modellierung mit der Badewannenkurve eine Vereinfachung dar. Da alle Bauteile eines Typs sehr ähnliche Lebensdauern aufweisen und eine Verwendung verschiedener Lebensdauerverteilungen für z.B. Bauteile unterschiedlicher Herstellungszeiträume den Rechenaufwand stark ansteigen lassen würde, ist die Verwendung der Normalverteilung anderen Lebensdauerverteilungen vorzuziehen. Ferner ist das Ausfallverhalten hinsichtlich Alterung und Verschleiß von besonderer Bedeutung im Gegensatz zu den

Frühausfällen, da ein Frühausfall in der Regel mit einer Wiederherstellung des Bauteils und nicht mit einer wärmetechnischen Verbesserung verbunden ist.

Die Lebensdauer von Gebäudebauteilen wurde bereits in verschiedenen wissenschaftlichen Beiträgen behandelt [17], indem Beobachtungen an Gebäuden ausgewertet wurden [17]. Da die Bauteile Wand und Dach in der Regel aus mehreren Schichten unterschiedlicher Materialien bestehen, ist eine Veränderung am betroffenen Bauteil dann zu erwarten, wenn die kürzeste Lebensdauer der Schichten abgelaufen ist. Die Lebensdauern der Tragkonstruktionen übersteigen die der Bekleidungen in der Regel sehr deutlich, da die Bekleidung besonderen Beanspruchungen durch die Bewitterung ausgesetzt ist. Außenwände können mit unterschiedlichen Bekleidungen wie z.B. Sichtmauerwerk, Holz, Naturstein, Klinkerverblendung oder Außenputz hergestellt sein. Die überwiegende Zahl der Außenwände ist durch einen Außenputz bekleidet, dessen Lebensdauer sich etwa im Mittelfeld der verschiedenen Außenwandbekleidungen bewegt. Als typische Bekleidung für Außenwände wird daher im Folgenden ein Außenwandputz auf Kalk- oder Zementbasis angenommen.

Geneigte Dächer bestehen zumeist aus einer Tragkonstruktion, einer Abdichtungsebene und einer Dachdeckung. Die Lebensdauern von Tragkonstruktion und Eindeckung unterscheiden sich nur wenig, wohingegen die Abdichtungsebene eine deutlich kürzere Lebensdauer aufweist. In der Praxis werden Undichtigkeiten an der Abdichtungsebene häufig durch Ausbesserungen beseitigt, ohne dass dabei der Dachaufbau verändert wird. Im Gegensatz zu Wänden kann an Dächern aufgrund der Zugänglichkeit leicht von Innen eine Verbesserung des Wärmeschutzes vorgenommen werden, ohne den äußeren Aufbau zu verändern. Damit ist der Zeitraum bis zum Eintreten einer Veränderung an einem Dach vermutlich kürzer als die Lebensdauer der Bekleidung, jedoch länger als die Lebensdauer der Abdichtung bzw. Sperrebene.

Fenster bestehen, abgesehen von der Mehrscheibenverglasung, im Gegensatz zu Dächern und Wänden nicht aus mehreren Schichten. Ihre Lebensdauer ist daher im Wesentlichen vom Rahmenmaterial abhängig, welches der Bewitterung ausgesetzt ist.

In der folgenden Tabelle sind die Mindest-, Mittel- und Höchstwerte, die innerhalb des Modells für die Lebensdauern der Bauteile Wand, Dach und Fenster angesetzt werden, zusammengestellt:

Tab. 3-2. Angenommene Lebensdauern der Bauteile der wärmeübertragenden Hülle in Jahren.

Bauteil	Mindestwert	Mittelwert	Höchstwert
Außenwand	30	40	50
Dach	40	50	60
Fenster	20	30	40

3.2.2.2 Beschreibung von zufälligen Sanierungen durch die Exponentialverteilung

Im Gegensatz zu den Lebensdauersanierungen werden Sanierungen aus Energieeinsparbestrebungen unabhängig vom Alter und den vorhandenen Verschleißerscheinungen der Gebäude vorgenommen. Auslöser dieser Sanierungen kann zum Beispiel ein Anstieg der Energiepreise, die Einführung einer neuen Verordnung oder ein Eigentümerwechsel sein. Diese Ereignisse sind an keine zeitliche Entwicklung gebunden, die vergleichbar mit der Alterung die Wahrscheinlichkeit zum Ausfall des Bauteils erhöhen, sondern sie treten rein zufällig auf. Für die Ermittlung der zufälligen Dauer von Zeitintervallen, insbesondere der Lebensdauer von Bauteilen, Geräten und Maschinen, an denen keine Alterungs- und Verschleißerscheinungen berücksichtigt werden sollen, bietet sich die Exponentialverteilung an. Vorteil der Exponentialverteilung ist ihre „Gedächtnislosigkeit“, da die ermittelten Überlebenswahrscheinlichkeiten in Bezug auf einen bestimmten Zeitpunkt unabhängig vom bisher erreichten Alter sind. Der einzige Parameter der Exponentialverteilung ist der Wert λ , der die Ausfallrate beschreibt. Der Reziprokwert $1/\lambda$ beschreibt die Lebensdauer und ist damit in gewisser Weise als der Erwartungswert der Verteilung anzusehen.

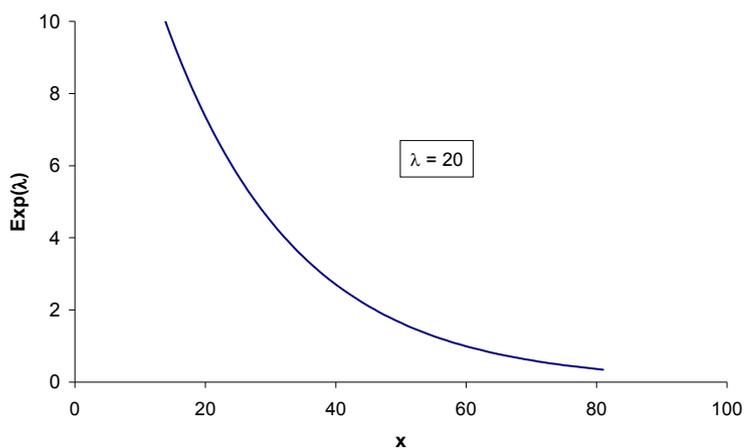


Abb. 3-9. Exponentialverteilung mit Parameter $\lambda = 20$.

Dichtefunktion der Exponentialverteilung: $f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad x \geq 0$

3.3 Effizienzsteigerungen in der Energienachfrage von Gebäuden

Der Energieverbrauch für das Heizen der Wohngebäude betrug im Jahr 2007 ca. 18 % des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland [15]. Wohngebäude aus den 60er und 70er Jahren, die vielerorts den größten Anteil des Wohngebäudebestands stellen, weisen im Durchschnitt einen Endenergiebedarf zur Beheizung von ca. 220 kWh/m²a auf. Verglichen mit dem Stand der Technik heute, der die Herstellung von Gebäuden ermöglicht, die ohne externe Energiequellen auskommen und die erforderliche Energie allein durch Solaranlagen beziehen, ist dieser Wert extrem hoch. Auch wenn die Einführung dieses Standards noch einige Jahre in der Zukunft liegt, und die Umrüstung von bestehenden Gebäuden auf diesen Standard nahezu nicht möglich ist, könnte der Heizwärmebedarf des Gebäudebestands durch Sanierungen an der Gebäudehülle und der Anlagentechnik bereits heute sehr weit gesenkt werden. Je nach den baulichen Gegebenheiten ermöglicht eine Sanierung mit Passivhauskomponenten die Senkung des Heizwärmebedarfs auf nur noch 35 kWh/m²a. Die Differenz zwischen dem durchschnittlichen Heizenergiebedarf der Wohngebäude aus den 60er und 70er Jahren und den erreichbaren Einsparungen beim Heizen von Wohngebäuden je m² und Jahr verdeutlicht, welches enorme Potential die wärmetechnische Sanierung von Gebäuden birgt.

3.3.1 Historische Entwicklung der Anforderungen des Wärmeschutzes von Gebäuden

Für die Nachbildung des heutigen Zustands der Gebäude in den drei Landkreisen ist die Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz in der Vergangenheit eine wichtige Grundlage. Obwohl die Anforderungen der jeweiligen Bauperiode in die Kennwerte der Typgebäude der deutschen Gebäudetypologie bereits integriert sind, so ist im Sanierungsfall bei der Einschätzung von Effizienzsteigerungen von entscheidender Bedeutung, welche ordnungsrechtlichen Anforderungen an Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand zum jeweiligen Zeitpunkt gestellt wurden.

Nach der Einführung von Wärmeschutzanforderungen an Gebäude durch die DIN 4108 wurde innerhalb des Baurechts mit dem „Gesetz zur Einsparung von Energie“ vom 22.07.1976 eine weitere Grundlage für den Erlass von Rechtsvorschriften zur Einsparung von Energie gelegt. Aufgrund der Einschränkung durch das Wirtschaftlichkeitsgebot sollten aber nur dann Anforderungen an die Verminderung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden gestellt werden, wenn die Maßnahmen zu einer deutlichen Minderung des Bedarfs führten und sich diese Maßnahmen innerhalb eines angemessenen Zeitraumes amortisierten. Seit Inkrafttreten dieses Gesetzes wurden die folgenden Verordnungen erlassen:

1. Wärmeschutzverordnung vom 11.08.1976:

Es wurden nur Anforderungen an neu zu errichtende Gebäude gestellt, nicht aber an den Gebäudebestand.

2. Wärmeschutzverordnung vom 01.01.1984:

Es werden die ersten Anforderungen an die bauliche Veränderung oder Erweiterungen gestellt. Es handelt sich jedoch nur um bedingte Anforderungen, da sie nur dann einzuhalten waren, wenn an der wärmeübertragenden Hülle eines vor dem 01.11.1977 errichteten Gebäudes Änderungen vorgenommen wurden. blieb die Hülle dieser Gebäude unverändert, so mussten auch keine Anforderungen eingehalten werden.

3. Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994:

Wie in der Vorgängerverordnung werden ebenfalls nur bedingte Anforderungen formuliert, die Anforderungen an die Qualität der Sanierungen wurden jedoch erhöht.

1. Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 16.11.2001

Mit der Zusammenführung der Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz und die energiesparende Anlagentechnik in der EnEV wurden erstmalig Verpflichtungen zur Nachrüstung der Gebäudehülle gestellt. Diese betrafen die Dämmung der obersten Geschossdecke, sofern diese nicht begehbar aber zugänglich ist. Ausgenommen von dieser Nachrüstpflicht waren selbst genutzte Ein- und Zweifamilienhäuser, wenn kein Eigentümerwechsel stattfand. Die Anforderungen an die Qualität von Sanierungen wurden erhöht.

2. Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 02.12.2004 und vom 24.07.2007

Die Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz von Bestandsgebäuden wurden nicht verändert.

3. Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 30.09.2009

Die bedingten Anforderungen an die Modernisierung von Einzelbauteilen im Gebäudebestand werden deutlich verschärft. Die Nachrüstverpflichtungen zur Dämmung nicht begehbarer, oberster Geschossdecken werden auch auf kleine Gebäude mit bis zu 2 Wohneinheiten ausgeweitet, die der Eigentümer selbst bewohnt. Als Stichtag für die Einhaltung der Verpflichtung wurde der 01.01.2012 festgelegt. Zusätzlich wird die Nachrüstpflicht – soweit zumutbar – auf begehbare Geschossdecken ausgeweitet.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der verschiedenen Anforderungsniveaus aus den einzelnen Verordnungen:

Tab. 3-3. Gegenüberstellung der Anforderungen der unterschiedlichen Verordnungen an die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen.

Bauteil	Maßnahme	max. k- bzw. U-Wert [$W/(m^2 \cdot K)$]			
		WSchVO. '84	WSchVO. '94	EnEV 2001	EnEV 2009
Außenwände	bei außenseitiger Erneuerung	0,60	0,40	0,35	0,24
	bei raumseitiger Erneuerung	0,60	0,50	0,45	0,35
Fenster und Fenstertüren	Erneuerung von Verglasungen	Doppel- oder	-	1,50	1,10
	Erneuerung einschl. Rahmen	Isolierverglasung	1,80	1,70	1,30
	Türen	-	-	2,90	2,90
Decken oder Dach	Steildach	0,45	0,30	0,30	0,24
	Flachdach	0,45	0,30	0,25	0,20
Kellerdecke bzw. Erdgeschossfußboden	bei kellerseitiger Erneuerung	0,70	0,50	0,40	0,30
	bei raumseitiger Erneuerung	0,70	0,50	0,50	0,50

Die Betrachtung der Zahlen legt nahe, dass ein wünschenswerter Anstieg der Anforderungen an die Qualität von Sanierungen im Gebäudebestand seit Einführung der Wärmeschutzverordnungen stattgefunden hat. Da es sich bei den Anforderungen an die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen nur um bedingte Anforderungen handelt, ist ihre Anwendung in vielen Sanierungsfällen nicht erforderlich. Mit Einführung der EnEV vom 16.11.2001 wurde als Tatbestand für eine energetische Verbesserung die Erneuerung des Außenputzes an Außenwänden mit einem U-Wert $> 0,9 W/m^2K$ eingeführt. Die mangelnde Kontrolle des Vollzugs der Verordnung minderte das Potential dieser Anforderung jedoch seit ihrer Einführung bereits erheblich.

Insgesamt blieb das Anforderungsniveau der EnEV vom 16.11.2001 hinter den Erwartungen zurück, da die Wirtschaftlichkeit vieler Maßnahmen durch die nicht ausreichenden Anforderungen in Verbindung mit den Unsicherheiten über die Energiepreisentwicklung in den nächsten Jahrzehnten nicht gegeben war. Damit wurde die EnEV auch den baulichen Möglichkeiten zum Zeitpunkt ihrer Einführung nicht gerecht [19].

Mit Einführung der EnEV vom 30.09.2009 wurden die bedingten Anforderungen an die Modernisierung von Einzelbauteilen im Gebäudebestand deutlich verschärft und die Nachrüstverpflichtungen erweitert. Modellrechnungen zur Beurteilung des energetischen Standards im Wohngebäudebestand ergaben, dass durch die verschärften Anforderungen eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs von knapp 25 % erreicht werden kann. Damit wird das in den Eckpunkten des Klimaschutzprogramms formulierte Ziel einer 30-prozentigen Verschärfung der energetischen Anforderungen zumindest annähernd erreicht [20].

3.3.2 Maßnahmen zur Verringerung des Heizwärmebedarfs an der Gebäudehülle

Die wesentliche Voraussetzung für die wirksame Verringerung des Heizwärmebedarfs von Bestandsgebäuden ist die Umrüstung der Gebäudehülle in einen hocheffizienten Wärmeschutz, der das Gebäude möglichst lückenlos umschließt. Die ideale Vorgehensweise bei der wärmetechnischen Sanierung ist die gleichzeitige Sanierung aller Bestandteile der Gebäudehülle, um die Übergänge zwischen den Einzelbauteilen und ihre wärmetechnische Qualität optimal aneinander anzupassen und das Risiko zur Entstehung von Wärmebrücken gering zu halten.

In der Praxis findet die gleichzeitige Sanierung aller Bauteile der Gebäudehülle nur in wenigen Fällen statt, da die meisten Sanierungen dann durchgeführt werden, wenn eine Instandsetzung des betreffenden Bauteils ohnehin ansteht. Die Kosten für die energetische Verbesserung des Gebäudes fallen bei einer ohnehin erforderlichen Investition bei der Instandsetzung des Gebäudes nicht so sehr ins Gewicht.

Grundsätzlich wurde und wird die Qualität der wärmetechnischen Sanierung vor allem von den ordnungsrechtlichen Vorschriften bestimmt. In den letzten Jahren ist jedoch festzustellen, dass durch einen immer breiteren Konsens über die Erforderlichkeit von Energieeinsparungen auch Sanierungen vorgenommen werden, die die zulässigen Grenzen des Wärmedurchgangs deutlich unterschreiten. Leider ist anzunehmen, dass die Anzahl der nach ordnungsrechtlichen Anforderungen durchgeführten Sanierungen die Zahl der hochwirksamen Wärmeschutzsanierungen derzeit noch um ein vielfaches übersteigt. Im den folgenden Abschnitten werden unterschiedliche Möglichkeiten zur Erhöhung des Wärmeschutzes an den Bauteilen der Gebäudehülle erläutert [21].

3.3.2.1 Außenwände

Je nach Bauweise eines Gebäudes bestehen für die Wärmedämmung der Außenwände unterschiedliche Möglichkeiten. Am weitesten verbreitet ist die Verwendung von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS), deren Anwendung sich in den letzten 30 Jahren bewährt hat. Grundbestandteil der WDVS ist die Wärmedämmung aus Wärmedämmplatten, die je nach Ebenheit des Untergrundes und nach Höhe des

Gebäudes mit Dübeln, Kleber oder mittels Schienen befestigt werden. Als Witterungsschutz wird auf die Wärmedämmung ein Putzsystem bestehend aus Putz und Armierungsgewebe aufgebracht.

Eine weitere Möglichkeit der Wärmedämmung ist das Aufbringen einer hinterlüfteten Vorhangsfassade. Dabei wird eine Unterkonstruktion für die neue Fassadenfläche auf der alten Oberfläche der Fassade befestigt und in den Zwischenraum der Unterkonstruktion der Dämmstoff eingebracht. Zwischen der Verkleidung und dem Dämmstoff wird dabei bewusst ein Luftspalt vorgesehen, der zur Hinterlüftung der Fassade dient. Nachteile dieses Systems sind die im Vergleich zum WDVS relativ hohen Kosten, die durch einen höheren Materialaufwand entstehen, und die größere Dicke des Gesamtaufbaus. Vorteile des Systems sind der gute Witterungsschutz und die Gestaltungsmöglichkeiten der Verkleidung.

Zweischalige Fassaden mit Luftspalt bieten die Möglichkeit einer Kerndämmung, um den Wärmeschutz der Fassade zu erhöhen. Nachteil dieser Möglichkeit ist die begrenzte Dämmstoffdicke, die auch die Verbesserung des Wärmeschutzes einschränkt.

An Gebäuden die unter Denkmalschutz stehen und solchen, an denen ein Aufbringen einer zusätzlichen Außenschicht aus Platzgründen nicht gewünscht ist, kann der Wärmeschutz durch eine Innendämmung erfolgen. Nachteil dieser Konstruktion ist die Reduktion der Wohnfläche durch den Dämmstoff, so dass die Verbesserung des Wärmeschutzes aufgrund der begrenzten Flächenverhältnisse in der Regel geringer ausfällt als bei einer Außendämmung. Da das Risiko für die Entstehung von Wärmebrücken und damit für Tauwasser- und Schimmelbildung bei Innendämmungen sehr hoch ist, muss die Planung und Ausführung mit großer Sorgfalt erfolgen. Detaillierte Hinweise zur Vermeidung der Bauschäden durch Wärmebrücken können [22] und [23] entnommen werden.

3.3.2.2 Dach/oberer Gebäudeabschluss

Bei der Verbesserung des Wärmeschutzes von Dächern muss zwischen Steil- und Flachdächern unterschieden werden. Steildächer bestehen in der Regel aus einer Balkenkonstruktion, wohingegen Flachdächer häufig aus einer tragenden Platte bestehen. Bei den Steildächern werden drei Arten der Dämmung des Daches unterschieden:

- Aufsparrendämmung,
- Dämmung des Sparrenzwischenraums und
- Untersparrendämmung,

wobei die Auswahl nach Zugänglichkeit zu den Sparren erfolgt. Die Zwischensparrendämmung ist aufgrund der Höhe der Sparren begrenzt, so dass dann eine Mischform der Dämmung aus Zwischensparrendämmung und Auf- oder Untersparrendämmung ausgeführt wird. Bei allen drei Möglichkeiten ist raumseitig eine dampfsperrende und

luftdichte Ebene vorzusehen, um eine Tauwasserbildung innerhalb der Dämmschicht zu vermeiden und den Anforderungen an die Luftdichtheit des Gebäudes zur Vermeidung von unkontrolliertem Verlust an Wärme Rechnung zu tragen.

Bei Flachdächern wird die Dämmung in der Regel außen auf die tragende Deckenkonstruktion aufgebracht. Wird der Dachraum nicht als Wohnraum genutzt und soll kein Ausbau des Dachraumes erfolgen, dann kann die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke vorgenommen werden, die mit geringen Kosten verbunden ist.

3.3.2.3 Fenster

Die überwiegende Zahl der vorhandenen Fenster im heutigen Wohngebäudebestand sind Fenster mit Zweischeibenverglasungen im Verbund, als Kastenfenster oder als Isolierverglasung, die in unterschiedlichen Rahmenmaterialien eingebaut sind. Der Austausch von Fenstern ist in der Regel immer mit einer Verbesserung des Wärmeschutzes verbunden, da anders als bei Wänden oder Dächern keine Schichten weggelassen werden können und in den allermeisten Fällen neue Fenster eingebaut werden müssen. Heute sind sowohl 2- als auch 3-Scheiben-Verglasungen von Fenstern auf dem Markt erhältlich, die aus Wärmeschutzglas bestehen. Die Wärmeschutzwirkung wird durch eine reflektierende Bedampfung der Scheibenoberfläche und eine Edelgasfüllung im Zwischenraum der Fenster erreicht.

Der Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern schwankt bei gleichen Materialien je nach Flächenanteil des Rahmens, da der Verbund zwischen Verglasung und Rahmen sowie der Rahmen selbst die Schwachstellen innerhalb des Fensters bilden.

3.3.2.4 Unterer Gebäudeabschluss

In der Mehrzahl der Wohngebäude stellt der untere Gebäudeabschluss die Decke über dem unbeheizten Kellergeschoss dar. Die Dämmung der Kellerdecke kann z.B. durch das Anbringen von Wärmedämmplatten an der Unterseite der Decke erzielt werden. Verhindern Unregelmäßigkeiten der Oberfläche der Kellerdecke die Verlegung von Dämmplatten, so kann die Dämmung auch bei einer Erneuerung des Bodenbelags auf der Seite des Erdgeschossraumes aufgebracht werden. Die Dämmung der Kellerdecke auf der Kaltseite ist in den meisten Fällen leicht zu montieren und kann insbesondere bei kleinen Wohngebäuden in Eigenarbeit der Gebäudeeigentümer erfolgen.

Falls die Kellerräume beheizt sind, ist eine nachträgliche Dämmung der Bodenplatte nur auf der Innenseite möglich. Zur Verbesserung des Wärmeschutzes der Kellerwände von beheizten Kellerräumen kann eine Dämmung auf der Innenseite der Räume vorgenommen werden. Sind jedoch Abdichtungsarbeiten an der Kelleraußenwand erforderlich und müssen die Kellerwände ohnehin frei gelegt werden, bietet sich das Aufbringen von Dämmplatten an der Außenseite der Kellerwand an.

3.4 Bilanzierung des Raumwärmedarfs in Gebäuden

In der aktuellen Normung wird der Jahresheizenergiebedarf eines Gebäudes über eine Energiebilanz im stationären Zustand ermittelt. Dabei werden bei Wohngebäuden der Jahresheizwärmebedarf für die Raumheizung, der Jahres-Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung und der Jahresverlust der Anlagentechnik dem Jahres-Wärmegewinn aus der Nutzung regenerativer Energien gegenüber gestellt.

$$Q = Q_h + Q_w + Q_t - Q_r \quad [\text{kWh/a}]$$

- mit
- Q_h Jahres-Heizwärmebedarf für die Raumheizung [kWh/a]
 - Q_w Jahres-Nutzwärmebedarf für die Trinkwassererwärmung [kWh/a]
 - Q_t Jahresverluste der Anlagentechnik (Heizsystem und Trinkwassererwärmung einschließlich des elektrischen Energiebedarfs für Pumpen und Ventilatoren usw. [kWh/a]
 - Q_r Jahreswärmegewinn aus der Nutzung regenerativer Energien durch das Heizsystem [kWh/a]

Die Berechnung gliedert sich in einen baulichen Teil durch die Bestimmung des Jahresheizwärmebedarfs und einen anlagentechnischen Teil durch die Ermittlung der anderen Summanden. Den Ablauf der Berechnung des Heizwärmebedarfs für Wohngebäude regelt DIN 4108-6:2003-04. Bis zur Einführung der EnEV 2009 standen zwei unterschiedliche Verfahren zur Verfügung: das Monatsbilanzverfahren oder das vereinfachte Heizperiodenbilanzverfahren (Heizperiodenverfahren). In beiden Verfahren werden nach dem Bilanzprinzip Verluste und Gewinne gegenübergestellt, aus deren Differenz sich der erforderliche Jahresheizwärmebedarf eines Gebäudes ergibt. Je nach gewähltem Verfahren erfolgt diese Bilanzierung monatlich oder in Bezug auf die gesamte Heizperiode. Die Ergebnisse der Berechnung mit dem vereinfachten Heizperiodenverfahren liegen um 5-15 % über den Ergebnissen des Monatsbilanzverfahrens und damit auf der sicheren Seite [23].

Seit Inkrafttreten der EnEV 2009 am 01.10.2009 ist das Heizperiodenbilanzverfahren für die Berechnung des Heizwärmebedarfs im Rahmen des öffentlich-rechtlichen Nachweises nicht mehr zugelassen, da mit der Erhöhung der Anforderungen an den Wärmeschutz und die Dichtigkeit der Gebäude auch der Anspruch an den Detaillierungsgrad des Berechnungsverfahrens gestiegen ist. Im Rahmen der vorliegenden Modellierung bietet das Monatsbilanzverfahren jedoch eine leicht zu handhabende Möglichkeit, den Heizwärmebedarf für die Gebäude der Landkreise mit den vorliegenden Informationen und Annahmen berechnen zu können; es wird nachfolgend kurz vorgestellt [23].

3.4.1 Bilanzierung des Heizwärmebedarfs

In der Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_h werden die Wärmeverluste den nutzbaren, internen Wärmegewinnen des Gebäudes gegenübergestellt:

$$\text{vorh } Q_h = Q_{l,HP} - \eta_{HP} \cdot Q_{g,HP}$$

- mit $Q_{l,HP}$ Wärmeverluste (engl. „loss“ = Verlust) [kWh/a] in der Heizperiode
 $Q_{g,HP}$ Wärmegewinne (engl. „gain“ = Gewinn) [kWh/a] in der Heizperiode
 η_{HP} Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne [-] in der Heizperiode

Bezogen auf die einzelnen Anteile wird:

$$\text{vorh } Q_h = Q_{l,t,HP} + Q_{l,v,HP} - \eta_{HP} \cdot (Q_{s,HP} + Q_{i,HP})$$

- mit $Q_{l,t,HP}$ Transmissionswärmebedarf in der Heizperiode [kWh/a]
 $Q_{l,v,HP}$ Lüftungswärmebedarf in der Heizperiode [kWh/a]
 $Q_{s,HP}$ solare Wärmegewinne der Fenster in der Heizperiode [kWh/a]
 $Q_{i,HP}$ interne Wärmegewinne in der Heizperiode [kWh/a]
 η_{HP} Ausnutzungsgrad der solaren und internen Wärmegewinne, beim Heizperiodenverfahren wird $\eta_{HP} = 0,95$ gesetzt [-]

Gemäß [25] wird der Wärmebedarf für Transmission und Lüftung mit folgendem Ansatz berechnet:

$$Q_{l,HP} = F_{GT} \cdot (H_T + H_V)$$

- mit F_{GT} Gradtagzahlfaktor zur Erfassung der klimatischen Randbedingungen [kWh/(a·W)]
 H_T spezifischer Transmissionswärmeverlust zur Erfassung der bautechnischen Randbedingungen der Transmission [W/K]
 H_V spezifischer Lüftungswärmeverlust zur Erfassung der bautechnischen und nutzungsbedingten Randbedingungen der Lüftung [W/K]

3.4.2 Berechnung der Transmissionswärmeverluste

Der spezifische Transmissionswärmeverlust mit $i = 1, 2, \dots, n$ Bauteilen in der Fläche der wärmeübertragenden Hülle berechnet sich nach:

$$H_T = \sum_{i=1}^n (F_{xi} \cdot U_i \cdot A_i) + \Delta U_{WB} \cdot A$$

mit F_{xi} Temperatur-Korrekturfaktor für das Bauteil (zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Temperaturen an der Außenseite des jeweiligen Bauteils während der Heizperiode) [-]

U_i Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils i [$W/(m^2 \cdot K)$]

A_i Fläche des Bauteils i in der wärmeübertragenden Hülle des Gebäudes [m^2]

ΔU_{WB} Zuschlagswert zum Wärmedurchgangskoeffizienten zur Berücksichtigung von Wärmebrücken für das Bauteil [$W/(m^2 \cdot K)$]

A wärmeübertragende Hüllfläche des beheizten Gebäudevolumens [m^2]

$$A = \sum_{i=1}^n A_i$$

Die Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Einzelbauteile wird hier nicht erläutert. Die Vorgehensweise zu ihrer Berechnung kann [27] entnommen werden. Wärmebrücken werden beim Heizperiodenbilanzverfahren durch einen pauschalen Zuschlagswert berücksichtigt, der von der baulichen Durchbildung der Details am Übergang zwischen Bauteilen abhängt.

3.4.3 Berechnung der Lüftungswärmeverluste

Ohne eine Luftdichtheitsprüfung berechnen sich die spezifischen Lüftungswärmeverluste für Gebäude mit:

$$H_V = (\rho_L \cdot c_{pL}) \cdot n \cdot V$$

mit ρ_L 1,23 kg/m^3 , Dichte von Luft nach DIN EN 12524 [28], Tabelle 1

c_{pL} 1008 $J/(kg \cdot K)$, spezifische Wärmekapazität von trockener Luft nach DIN EN 12524, Tabelle 1

n $0,7h^{-1}$, Luftwechselrate ohne Luftdichtheitsprüfung

V $0,80 \cdot V_e$, beheiztes Luftvolumen (Nettovolumen) [m^3]

V_e beheiztes Gebäudevolumen (Bruttovolumen mit Außenmaßen berechnet) [m³]

3.4.4 Einfluss der klimatischen Randbedingungen

Zur Berücksichtigung der klimatischen Randbedingungen wird der Gradtagzahlfaktor auf der Seite der Verluste in die Berechnung des Heizwärmebedarfs eingeführt. Dieser berücksichtigt die baubedingten Einflüsse der Nachtabschaltung der Heizung sowie die Dauer und Ausprägung der Heizperiode. Der Gradtagzahlfaktor errechnet sich zu:

$$F_{GT} = f_{NA} \cdot G_T$$

mit f_{NA} 0,95, Faktor zur Berücksichtigung der baubedingten Einflüsse der Nachtabschaltung der Heizung [-]

G_T Heizgradtagzahl, Summe der täglichen Differenz zwischen der mittleren Raumtemperatur und dem Tagesmittel der Außenlufttemperaturen während der Heizperiode eines Jahres [-]:

$$G_T = \sum_{j=1}^{t_{HP}} (\theta_i - \text{mittl. } \theta_{e,j})$$

mit θ_i 19 °C, mittlere Raumtemperatur

$\text{mittl. } \theta_{e,j}$ Tagesmittel der Außentemperatur am Tag j [°C]

t_{HP} Dauer der Heizperiode [d/a]

Die Heizgrenztemperatur kennzeichnet die Außentemperatur, ab der ein Gebäude zur Aufrechterhaltung einer Raumtemperatur von durchschnittlich 19 °C und wärmer beheizt werden muss. Ab welcher Außentemperatur ein Gebäude beheizt werden muss, hängt damit von der wärmetechnischen Qualität und damit vom Dämmstandard eines Gebäudes ab.

3.4.5 Berechnung der solaren Gewinne

Die solaren Gewinne über die Fensterflächen sind von der Ausrichtung der Fenster, ihrer Fläche und dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung abhängig:

$$Q_{s,HP} = \sum_j^n [(I_s \cdot t)_{j,HP} \cdot \sum_{i=1}^n (0,567 \cdot g_{0,i} \cdot A_i)]_j$$

mit $(I_s \cdot t)_{j,HP}$ Strahlungsangebot auf die Fensterflächen $i = 1, 2, \dots, n$ in Abhängigkeit von der Orientierung j und der Neigung α des Fensters [kWh/(m²·HP)]

$g_{o,i}$	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung i [-]
A_j	Fläche des Fensters, der Fenstertür oder des Dachflächenfensters i mit der Orientierung j [m^2]

3.4.6 Berechnung der internen Gewinne

Die internen Gewinne aus Körperwärme, Beleuchtung, Hausgeräten etc. werden beim Heizperiodenbilanzverfahren mit Hilfe eines pauschalen Wertes für die innere Wärmeleistung in Wohngebäuden abgeschätzt:

$$Q_{i,HP} = q_i \cdot t_{HP} \cdot A_N$$

mit	q_i	5 W/ m^2 als Pauschalwert für die flächenbezogene interne Wärmeleistung von Gebäuden
	t_{HP}	185 d/a als Anzahl der mittleren jährlichen Heiztage bei einer Heizgrenztemperatur von $\theta_{HP} = 10$ °C
	A_N	0,32 · V_e vereinfachte Gebäudenutzfläche [m^2]

3.5 Modellierung der Entwicklung des Heizwärmebedarfs der Wohngebäude

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Methodenentwicklung sowie die getroffenen Annahmen und Randbedingungen geschildert, die die Grundlage der Modellierung des Heizwärmebedarfs der Wohngebäude in den drei betrachteten Landkreisen bilden. Hier soll nun das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten in einem Gesamtmodell beschrieben werden, welches unter Zuhilfenahme von stochastischen Schritten den Lebenszyklus für jedes Wohngebäude der drei Landkreise individuell nachbildet und die Heizwärmebedarfsberechnung für den Zeitraum bis zum Jahr 2030 durchführt.

3.5.1 Individualisierung der Wohngebäude

Die Datengrundlage zum Wohngebäudebestand in den drei betrachteten Landkreisen bilden die in Kapitel 3.1.1.1 beschriebenen statistischen Daten. Um für jedes einzelne Gebäude aus dem Bestand einen individuellen Lebenszyklus nachbilden zu können, muss zunächst aus den statistischen Daten eine Liste aller Wohngebäude des jeweiligen Landkreises erstellt werden, die die nötigen Informationen zu den Einzelgebäuden enthält. Zur Erstellung dieser Liste müssen die folgenden Schritte durchgeführt werden.

Nachbildung der Baujahre für die Gebäude der Baualtersklassen bis 1987

Wie im Kapitel 3.1.2 beschrieben wurde, ist von den Gebäuden mit Baujahr vor 1987 das exakte Jahr der Herstellung nicht bekannt. Statt eines Baujahres liegt für diese Gebäude nur die Eingruppierung in eine Baualtersklasse vor, die jedoch einen Zeitraum von mehreren Jahren umfasst. Der Ansatz eines mittleren Baujahres für alle Gebäude einer Baualtersklasse hätte in der Simulation eine enge Verteilung der Sanierungsfälle der ersten Sanierungszyklen über einen kleinen Zeitraum zur Folge. Dieser Effekt ist insbesondere bei den Gebäuden der jüngeren Baualtersklassen gravierend, da diese Baualtersklassen sich erst während der Geltungsdauer der Wärmeschutzverordnungen, also nach 1977 im ersten Sanierungszyklus befinden und das qualitative Ergebnis der Sanierung falsch eingeschätzt werden könnte. Zur Vermeidung dieser Häufung werden die Gebäude einer Baualterklasse unter Verwendung von stochastischen Hilfsmitteln auf alle Jahre der jeweiligen Baualtersklasse verteilt.

Ermittlung der Anzahl der Wohneinheiten je Gebäude

In der Wohnflächenzählung im Jahr 1987 wurde in jeder Baualtersklasse nur die Summe aller Wohneinheiten in Gebäuden eines Gebäudetyps erhoben. Nicht erfasst wurde die Anzahl der Gebäude jeder Gruppe, in denen sich die Wohneinheiten befinden. Zur Individualisierung der Gebäude muss daher die Anzahl der Gebäude einer Gruppe aus der Anzahl der Wohneinheiten berechnet werden. Aufgrund der bekannten

Anzahl an Wohneinheiten in den Ein- und Zweifamilienhäusern können diese Gebäude direkt in die Liste eingefügt werden. Über die Größenstruktur der Mehrfamilienhäuser der Baujahre bis 1987 liegen jedoch keine statistischen Erfassungen vor, die eine direkte Umwandlung der Wohneinheiten in Gebäude ermöglichen. Daher wird die Annahme getroffen, dass die Gebäude in der gleichen Größenstruktur wie in [29] ermittelt vorliegen. Damit können die Wohneinheiten jeder Gruppe auf virtuelle Mehrfamilienhäuser nach der angenommenen Größenstruktur verteilt werden.

Seit 1988 werden neu gebaute Mehrfamilienhäuser vom statistischen Landesamt in den folgenden Gruppen erfasst:

- 3 Wohneinheiten
- 4-6 Wohneinheiten
- 7-12 Wohneinheiten
- 13-19 Wohneinheiten
- Mehr als 20 Wohneinheiten

Damit ist die durchschnittliche Anzahl an Wohneinheiten in den Gebäuden einer Gruppe bekannt. Zur Einführung von Einzelgebäuden werden die Wohneinheiten aller Gebäude einer Gruppe gleichmäßig auf alle Gebäude dieser Gruppe verteilt.

Nach Durchführung der genannten Schritte ist eine Liste über die Wohngebäude des Wohngebäudebestands eines Landkreises entstanden, die als Eingangsdatensatz für die Simulation die Informationen Gebäudetyp, Baujahr und Anzahl der Wohneinheiten für jedes einzelne Gebäude enthält.

3.5.2 Ermittlung des Lebenszyklus der Einzelgebäude

Während der Nutzungsdauer eines Gebäudes finden in der Regel zu mehreren Zeitpunkten Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen an der wärmeübertragenden Gebäudehülle statt, da die technische Lebensdauer der Einzelbauteile die Gesamtnutzungsdauer eines Gebäudes deutlich unterschreitet. Die Kenntnis dieser Zeitpunkte liefert neben der Information zum Herstellungszeitpunkt eines Gebäudes wichtige Hinweise für die Einschätzung der wärmetechnischen Qualität der Gebäudehülle. Wenn auch damit noch nicht die Qualität der Sanierungsmaßnahmen in Hinblick auf den Wärmeschutz des Gebäudes bekannt ist, kann durch die zeitliche Einordnung der Sanierung in den Kontext der ordnungsrechtlichen Anforderungen zumindest eine Annahme zur Qualität der Sanierung erfolgen.

Die Beschreibung der technischen Lebensdauer mit theoretischen Verteilungsmodellen, wie sie in Abschnitt 3.2.1 vorgenommen wurde, bildet die Grundlage für die Nachbildung der Sanierungszeitpunkte. Da Wände, Dächer, Fenster und unterer Gebäudeabschluss unterschiedliche technische Lebensdauern aufweisen, werden die Einzelbauteile der wärmeübertragenden Hülle getrennt betrachtet und für jedes dieser Bauteile eines Gebäudes ein individueller Zeitplan der Sanierungen erstellt.

3.5.2.1 Ermittlung der Bauteillebensdauer

Startzeitpunkt für die Lebenszyklusbetrachtung der Bauteile Dach, Wand und Fenster ist das Baujahr des Gebäudes. Im ersten Schritt wird eine Zufallsgröße nach der Normalverteilung für die technische Lebensdauer des betrachteten Bauteils nach der Herstellung ermittelt. Die Parameter Erwartungswert und Standardabweichung, die den Verlauf der Ausfälle charakterisieren, müssen zu Beginn der Simulation für alle Bauteile gleichen Typs vom Nutzer der Simulation angegeben werden. **Abb. 3-10** enthält einen Screenshot des Eingabefensters am Start der Simulation. Das Teilfenster mit den Eingabefeldern zur Bauteillebensdauer ist mit römisch I. markiert.

Neben der Zufallsgröße nach der Normalverteilung wird für die Beschreibung der vom Alter des Bauteils unabhängigen Sanierungen eine Zufallsgröße nach der Exponentialverteilung ermittelt. Die Größe des Parameters λ , dessen Reziprokwert bei der Exponentialverteilung den Erwartungswert darstellt, muss zu Beginn der Simulation vom Nutzer angegeben werden. Die zufällige Sanierung von Gebäuden wird innerhalb des Modells als „motiviert Sanierung“ bezeichnet, da diese Art der Sanierung in der Regel aus Energieeinsparbestrebungen stattfindet. Der Startzeitpunkt für die Berücksichtigung der motivierten Sanierungen muss zu Beginn der Simulation vom Nutzer angegeben werden (siehe II. in **Abb. 3-10**).

Eingabe

Landkreisauswahl
 Ebersberg Erlangen-Höchststadt Straubing-Bogen

motiviert Sanierungen II. **START**
 Ab welchem Jahr soll motiviert saniert werden?
 Startjahr: 1995

Bauteillebensdauer I.
 Erwartungswert
 Dach: 50
 Wand: 40
 Fenster: 30
 3 * Standardabweichung
 Dach: 10
 Wand: 10
 Fenster: 10

Betrachtung bis zum Jahr 2008 III.
 Wie hoch ist der Anteil der energetischen Sanierungen an den Lebenszyklusanierungen in den folgenden Zeitabschnitten?

	1977-1983	1984-1994	1995-2001	2002-2008
Dach	2	8	30	45
Wand	2	8	30	40
Fenster	2	8	40	60

Unterer Gebäudeabschluss IV.
 Der untere Gebäudeabschluss wird nur durch Energieeinsparbestrebungen saniert. Es wird zwischen begleitender Sanierung zeitgleich zur Außenwand (Variante 1) und eingeständiger Sanierung (Variante 2) unterschieden.

	1977-1983	1984-1994	1995-2001	2002-2008	2009-2020	2020-2030
Variante 1	600	500	400	300	200	100
Variante 2	800	700	600	500	400	200

Betrachtung bis zum Jahr 2030 V.
 Lebenszyklusanalyse
 Wie hoch ist der Anteil der energetischen Sanierungen an den Lebenszyklusanierungen in den folgenden Zeitabschnitten?

	2009-2014	2015-2019	2020-2024	2025-2030
Dach	45	55	65	75
Wand	35	50	60	80
Fenster	60	70	80	90

 Sollsanierungsrate
 Wie hoch ist der jährliche Anteil von Sanierungen am Gebäudebestand für die folgenden Bauteile?

	2009-2014	2015-2019	2020-2024	2025-2030
Dach	0	0	0	0
Wand	0	0	0	0
Fenster	0	0	0	0

 Unterer Gebäudeabschluss

	2009-2014	2015-2019	2020-2024	2025-2030
	0	0	0	0

Abb. 3-10. Eingabefenster für die Voreinstellungen der Simulation, Markierung der Eingabemöglichkeiten.

Die Summen aus dem Baujahr des Gebäudes und den ermittelten Zufallszahlen ergeben zwei mögliche Zeitpunkte für die Sanierung des betrachteten Bauteils. Ist die Summe aus dem Baujahr des betrachteten Gebäudes und der Zufallsgröße nach der Normalverteilung kleiner als die Summe aus Baujahr und Zufallsgröße nach der Exponentialverteilung, so wird für den Startwert des zweiten Lebenszyklus die Summe aus Baujahr und Zufallsgröße nach der Normalverteilung verwendet. Ist die Summe aus Baujahr und Zufallsgröße nach der Exponentialverteilung kleiner, so wird zunächst überprüft, ob mit dieser Summe der Zeitpunkt erreicht ist, ab dem die „motivierten“ Sanierungen beachtet werden sollen. Wenn dieser Zeitpunkt erreicht ist, so wird die Zufallsgröße aus der Exponentialverteilung für die Lebensdauer des Bauteils verwendet.

Die Summe aus maßgebender Lebensdauer und Baujahr des Gebäudes bildet nun den Startwert für die Ermittlung der Lebensdauer im zweiten Sanierungszyklus. Der beschriebene Vorgang wird wiederholt und nach Auswahl des kleineren Zeitraums der neue Startzeitpunkt für die nächste Lebensdauer festgelegt. Dieser Ablauf wird solange fortgesetzt, bis das „Endjahr“ der Betrachtung erreicht ist. **Abb. 3-11** zeigt in einem Flussdiagramm die einzelnen Schritte bei Ermittlung der Lebensdauer eines Bauteils.

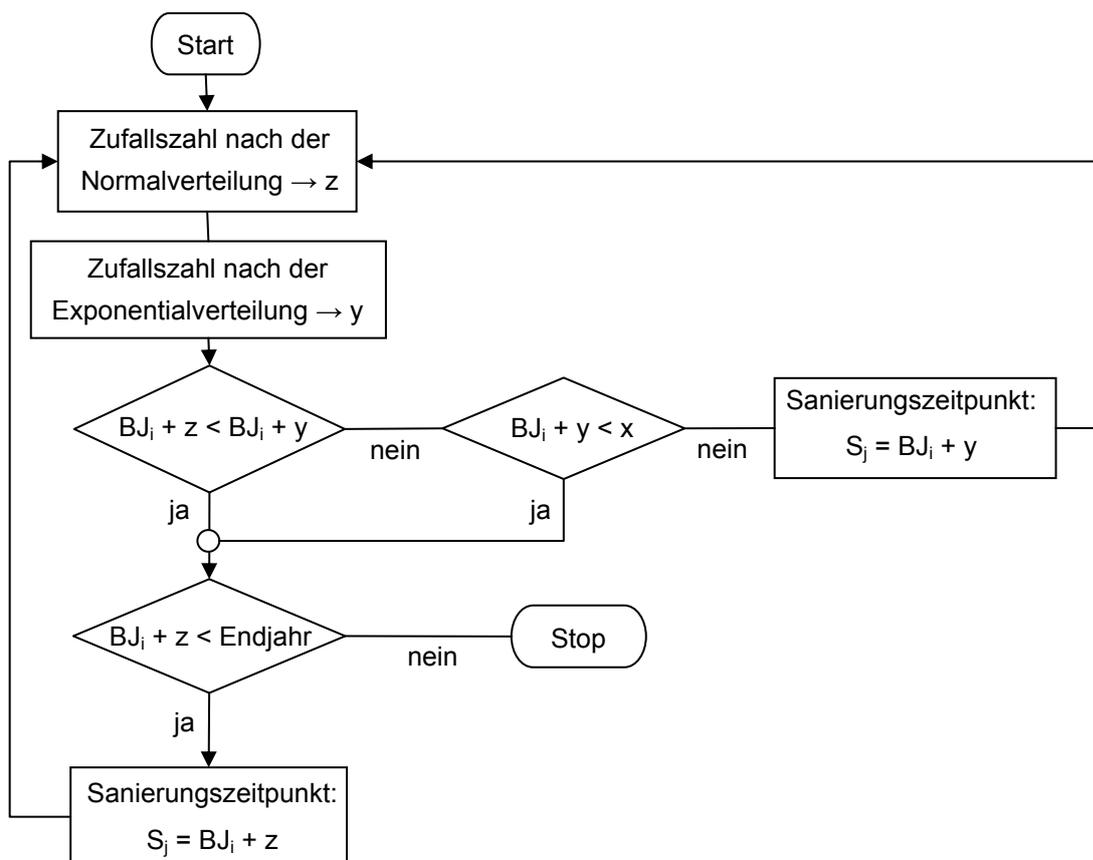


Abb. 3-11. Ablaufschema der stochastischen Ermittlung der Lebensdauer j eines Bauteils am Gebäude i .

Nach der stochastischen Ermittlung der Lebensdauern besteht für die Bauteile Wand, Dach und Fenster jeden Gebäudes ein festgeschriebener Lebenszyklus, in dessen Ablauf alle Zeitpunkte für Sanierungen an der Gebäudehülle bekannt sind. **Abb. 3-12** enthält die beispielhafte Darstellung der Sanierungszeitpunkte für die Bauteile Dach und Wand eines Gebäudes der Baualtersklasse 1918.

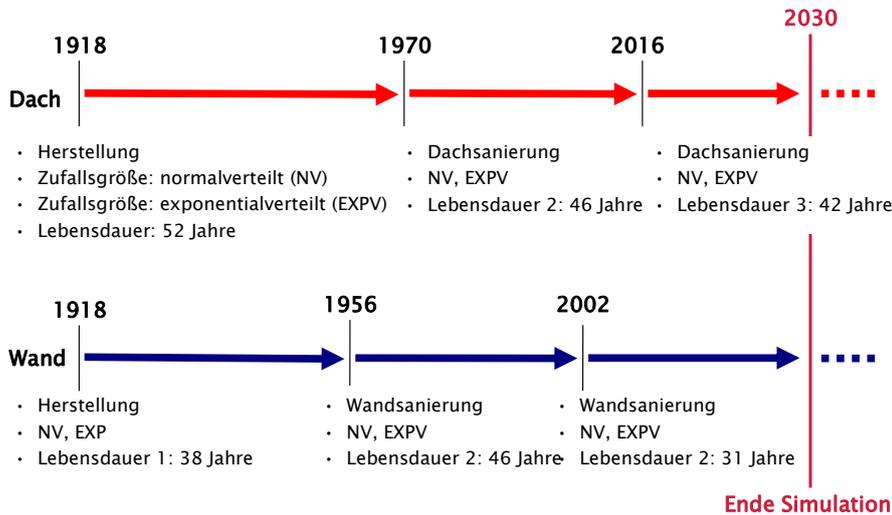


Abb. 3-12. Lebenszyklus für ein Einzelgebäude aus der Baualtersklasse 1918.

Bezogen auf die Gebäudegesamtheit einer Baualtersklasse ergibt sich für jede Bauteilart eine Verteilungskurve der Ausfälle, wie sie in **Abb. 3-13** dargestellt ist.

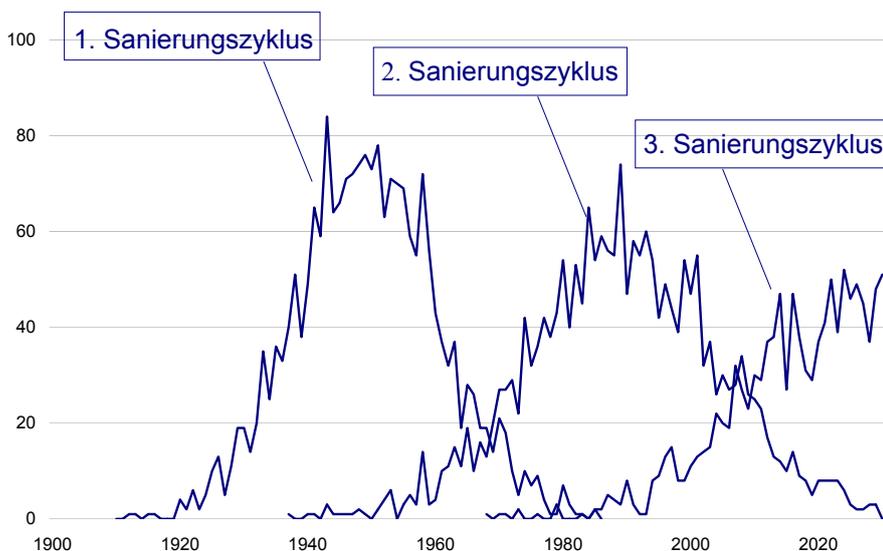


Abb. 3-13. Ausfallkurve der Wände der Gebäude in der Baualtersklasse 1918 im ersten, zweiten und dritten Sanierungszyklus.

3.5.2.2 Ermittlung der Sanierungszeitpunkte für den unteren Gebäudeabschluss

Der untere Gebäudeabschluss stellt gegenüber den Bauteilen Dach, Wand und Fenster einen Sonderfall dar, weil er in der Regel keinen direkten Einflüssen durch die Bewitterung ausgesetzt ist. Zwar findet in beheizten Kellerräumen eine indirekte Bewitterung der Bodenplatte durch das Grundwasser statt, doch kann diese aufgrund der Unzugänglichkeit der Unterseite während der Nutzungsdauer des Gebäudes nicht saniert werden. Die Auslöser für die wärmetechnische Verbesserung des unteren Gebäudeabschlusses sind daher in der Regel Energieeinsparbestrebungen. In der Praxis kann die wärmetechnische Sanierung des unteren Gebäudeabschlusses in der überwiegenden Zahl der Fälle losgelöst von Sanierungsmaßnahmen an der übrigen Gebäudehülle erfolgen. Insbesondere bei kleinen Gebäuden, in deren Gebäudehülle der Anteil der Kellerdecke deutlich größer ist als bei mehrgeschossigen Mehrfamilienhäusern, wird diese Maßnahme häufig in Eigenleistung durchgeführt, wenn sowieso Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes an der Gebäudehülle geplant sind. Innerhalb des Modells werden die Sanierungen des unteren Gebäudeabschlusses wie die motivierten Sanierungen durch die Exponentialverteilung abgebildet. Da es unwahrscheinlich ist, dass eine Verbesserung des Wärmeschutzes am unteren Gebäudeabschluss mehrfach durchgeführt wird, wird die Anzahl der möglichen Verbesserungen auf zwei begrenzt.

3.5.3 Wärmeschutzsanierung der Wohngebäude

3.5.3.1 Ex-post Betrachtung bis zum Jahr 2008

Die Entwicklung der wärmetechnischen Qualität des Wohngebäudebestands in den drei betrachteten Landkreisen ist für den Zeitraum 1977-2008 weitestgehend unbekannt. Nachdem seit Einführung der Wärmeschutzverordnungen im Jahr 1977 eine stetige Verbesserung des Wärmeschutzes der Wohngebäude stattfindet, bietet die Ex-Post Betrachtung der Jahre 1977-2008 die Möglichkeit, die Entwicklungen in diesem Zeitraum unter verschiedenen Vorgaben untersuchen zu können.

Analog zur Steigerung der ordnungsrechtlichen Anforderungen seit Einführung der 1. Wärmeschutzverordnung im Jahr 1977 wurde der Zeitraum bis zum Jahr 2008 in die Zeitabschnitte zwischen den Wärmeschutzverordnungen unterteilt. Für diese Zeitabschnitte müssen zu Beginn der Simulation die Anteile der Wärmeschutzsanierungen - innerhalb des Modells werden diese als energetische Sanierungen bezeichnet - an der Gesamtzahl der jährlich anstehenden Sanierungen für die Bauteile Wand, Dach und Fenster vom Nutzer angegeben werden (siehe III. in **Abb. 3-10**). Über die Zeiträume zwischen den Wärmeschutzverordnungen wird der Anteil konstant angesetzt. Aus den Listen der jährlich anstehenden Sanierungen, die durch die Lebenszyklusbetrachtung erstellt wurden, werden die energetisch zu sanierenden Bauteile mittels gleichverteilten Zufallszahlen ausgewählt. Der vom Nutzer definierte Anteil der energetischen Sanie-

rungen wird dabei auf die jeweils vorhandene Anzahl an anstehenden Sanierungen bezogen. Bei den zur energetischen Sanierung ausgewählten Gebäuden werden im nächsten Schritt die Wärmedurchgangskoeffizienten entsprechend den Anforderungen der zum Zeitpunkt der Sanierung geltenden Wärmeschutzverordnungen angehoben.

Die energetischen Sanierungen am unteren Gebäudeabschluss folgen, wie in Abschnitt 3.5.2.2 beschrieben, nicht dem Lebenszyklus, der sich durch die technische Lebensdauer der Bauteile ergibt. Für die Ex-Post Betrachtung bis zum Jahr 2009 kann daher der Erwartungswert für die unterschiedlichen Zeitabschnitte seit Einführung der Wärmeschutzverordnungen für die Fälle begleitende und eigenständige Sanierung getrennt angegeben werden (siehe IV. in **Abb. 3-10**). Als „begleitende“ Sanierung wird die wärmetechnische Verbesserung des unteren Gebäudeabschlusses zeitgleich zur wärmetechnischen Verbesserung der Außenwände bezeichnet. In diesem Fall kann eine höhere Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Sanierung angenommen werden, als für die eigenständige Sanierung, die als zeitlich unabhängig zu Sanierungen an der Gebäudehülle stattfindende Verbesserung des unteren Gebäudeabschlusses angesetzt ist.

3.5.3.2 Betrachtung für den Zeitraum 2009-2030

Auch im Zeitraum 2009-2030 bildet der zuvor ermittelte Lebenszyklus der Gebäude die Grundlage für die Auswahl der zu sanierenden Gebäude. Für den Zeitraum zwischen den Jahren 2009 und 2030 wurden zwei Möglichkeiten eingeführt, nach denen die Menge der energetisch zu sanierenden Gebäude definiert werden kann. Die erste Möglichkeit besteht in der gleichen Vorgehensweise wie im Zeitabschnitt 1977-2008, indem die energetischen Sanierungen durch den zu definierenden Anteil an den „anstehenden“ Sanierungen ausgewählt werden. Wie im Abschnitt zuvor erläutert, werden die zu sanierenden Gebäude über eine Zufallsauswahl aus der Menge der anstehenden Sanierungen ausgewählt und anschließend die Wärmedurchgangskoeffizienten gemäß den zum Zeitpunkt der Sanierung geltenden Anforderungen angehoben. Auch hier ist die Definition der Anteile nach Bauteilen getrennt in mehreren Zeitabschnitten möglich (siehe V. in **Abb. 3-10**)

Um die Menge der jährlich zu sanierenden Gebäude über einen festen Anteil des gesamten Bestandes zu definieren, kann vom Nutzer für jeden Bauteiltyp eine Sanierungsquote angegeben werden. Diese muss in jedem Jahr erfüllt werden, auch wenn die Liste der anstehenden Sanierungen bereits keine Kandidaten für das aktuelle Jahr mehr enthält. In diesem Fall werden die Sanierungen der folgenden Jahre zur Sanierung vorgezogen. Um ein ausreichendes Kontingent an anstehenden Sanierungen für die zu erfüllende Quote vorhalten zu können, wird die Lebenszyklusanalyse für den Zeitraum bis zum Jahr 2060 vorgenommen. Sollte die Menge der bis zum Jahr 2030 anstehenden Sanierungen für die Erfüllung der definierten Quote nicht ausreichen, so können auch Bauteilsanierungen aus dem Zeitraum nach dem Ende der Simulation

vorgezogen werden. Die wärmeschutztechnische Verbesserung der Gebäude erfolgt hier ebenfalls durch die Anhebung der Wärmedurchgangskoeffizienten auf die ordnungsrechtlich geforderten Werte.

3.6 Szenarien der Heizwärmebedarfsentwicklung bis zum Jahr 2030 in den drei Landkreisen

3.6.1 Modellierung der Ausgangslage in den Landkreisen heute

Die Ex-Post-Betrachtung bildet aufgrund der fehlenden Daten zum Umfang der Wärmeschutzsanierungen in der Vergangenheit die Grundlage für die Einschätzung der Ausgangslage in den drei Landkreisen. Wenn auch durch die Lebenszyklusbetrachtung der Bauteile in der Gebäudehülle für alle Gebäude der betrachteten Landkreise ein theoretischer Sanierungszeitplan entstanden ist, so kann durch die Simulation des Zeitraumes bis zum Jahr 2008 nur eine Spanne von Möglichkeiten als Grundlage für die zukünftige Entwicklung ermittelt werden. Um eine Eingrenzung der Möglichkeiten zu erreichen, werden für die Sanierungsintervalle und den Umfang der Sanierungsaktivitäten hier die folgenden Annahmen getroffen.

Bezogen auf den Entstehungszeitraum des Gebäudebestandes in den drei Landkreisen ist der Zeitabschnitt seit der Einführung der Wärmeschutzanforderungen an Sanierungen im Gebäudebestand relativ kurz. Nur bedingte Anforderungen, durch deren geringes Anforderungsniveau die Wirtschaftlichkeit der Wärmeschutzmaßnahmen häufig nicht gegeben war, ließen den Wärmeschutz im Gebäudebestand viele Jahre unterbewertet bleiben. Auch wenn die Energiepreissteigerungen der letzten Jahre grundsätzlich die Bereitschaft der Gebäudebesitzer zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen deutlich erhöht haben, so scheuen insbesondere Gebäudebesitzer mit höherem Alter langfristige Investitionen, die sich möglicherweise erst nach 20 Jahren amortisieren. Eine Abweichung der Sanierungsintervalle von der technischen Lebensdauer der Einzelbauteile ist daher bis auf wenige Fälle, in denen Energieeinsparungsbestrebungen eine vorzeitige Sanierung auslösten, sehr selten. Die Länge der Sanierungsintervalle zwischen den Sanierungen an der Gebäudehülle in der Simulation, soll daher durch die in Abschnitt 3.2.1 beschriebene technische Lebensdauer beschrieben werden.

Ein häufig verwendeter Richtwert für die Quantifizierung der Sanierungsaktivitäten der Wohngebäudebesitzer in den letzten Jahren ist die Vollsanierungsquote, die das Verhältnis zwischen der Anzahl an Gebäuden in einem definierten Gebäudebestand und der Anzahl der jährlich vollständig sanierten wärmeübertragenden Gebäudehüllen dieses Bestandes charakterisiert. Nach den Angaben im CO₂-Gebäudereport aus dem Jahr 2007 [2] ist dieser Wert bei den Gebäuden der Baujahre 1900-1979 von 1,6 % im Jahr 1994 auf 2,2 % im Jahr 2006 angestiegen. Ferner wird dort beschrieben, dass im Zeitraum 1989 – 2006 der Anteil der energetischen Sanierungen weniger als 30 % betragen habe. Je nach Zusammensetzung des betrachteten Wohngebäudebestands liefern die einzelnen Baualtersklassen unterschiedliche Beiträge zur Sanierungsquote, da der Anteil der im Sanierungszyklus befindlichen Gebäude entsprechend ihrem Anteil

am Gesamtbestand schwankt. Die Vollsanierungsquote lässt sich jedoch nur bedingt mit den Ergebnissen der Simulation vergleichen, da hier die Sanierungsquote je Bauteil und nicht je vollständig saniertem Gebäude berechnet wird. Mit dem längsten Sanierungsintervall der Einzelbauteile stellt die Sanierungsquote der Dächer einen zu niedrigen Vergleichswert zu der Sanierungsquote im CO₂-Gebäudereport dar. Bei Dächern besteht jedoch grundsätzlich die Möglichkeit auf der Innenseite eine Dämmung einzubauen, ohne eine Sanierung der Außenhaut vornehmen zu müssen. In der Praxis wird daher häufig während einer Wandsanierung auch zeitgleich eine Verbesserung am Wärmeschutz des Daches vorgenommen, bevor eine Dachsanierung aus technischen Gründen erforderlich ist. Einen Anreiz dazu liefern die staatlichen Förderprogramme, deren Zuschüsse mit steigender Energieeinsparung ansteigen. Als Vergleichswert für die oben genannte Vollsanierungsquote wird daher die Quote der Wandsanierungen verwendet.

Die Fenster stellen durch ihre Eigenschaften als vorgefertigtes Bauteil eine Sonder-situation dar. Während eine Erneuerung von Wänden zumeist nur eine Erneuerung des Anstrichs mit Ausbesserungen am Außenputz bedeutet, werden Fenster in der Regel vollständig ausgetauscht und durch ein neues Bauteil ersetzt. Die am Markt erhältlichen Fensterelemente unterliegen einer stetigen Weiterentwicklung, die unter anderem zu einer deutlichen Verbesserung des Randverbunds und der Verglasung und damit der Wärmeschutzeigenschaften der neuen Fenster geführt hat. Daher wird die Annahme getroffen, dass seit Einführung der Wärmeschutzverordnung im Jahr 1994 die überwiegende Zahl der Fenster auch energetisch saniert wurde. Zur Berechnung einer Vollsanierungsquote wird die Sanierungsquote der Fenster daher nicht miteinbezogen.

Wie in [2] wird auch hier die Annahme vertreten, dass der Anteil der energetischen Sanierungen im Zeitraum 1989-2006 weniger als 30 % betragen hat. Zudem ist davon auszugehen, dass zwischen der ersten und der zweiten Wärmeschutzverordnung der Anteil der energetisch sanierten Wände und Dächer nur sehr gering war und dieser Anteil auch nach Einführung der zweiten Wärmeschutzverordnung erst langsam auf 30 % energetische Sanierungen im Zeitraum 2002-2008 angestiegen ist.

Um den Einfluss unterschiedlicher Sanierungsaktivitäten auf die Ausgangslage zu quantifizieren, wurde die Berechnung der Ausgangslage in den drei betrachteten Landkreisen unter zwei Varianten durchgeführt. Variante 1 bedeutet die zuvor beschrieben langsame Steigerung der Sanierungsaktivitäten auf 30 % im Zeitraum 2002-2008, während in Variante 2 von einer geringeren Sanierungsaktivität ausgegangen wird. Die Annahmen zu den energetischen Sanierungsanteilen der unterschiedlichen Zeiträume der beiden Varianten sind in **Tab. 3-4** zusammengestellt.

Tab. 3-4. Varianten V1 und V2 für die Anteile der energetischen Sanierungen an den anstehenden Sanierungen bzw. Erwartungswerte der Sanierung am unteren Gebäudeabschluss in den angegebenen Zeitabschnitten zwischen 1977 und 2008.

Bauteil		1977-1983		1984-1994		1995-2001		2002-2008	
		V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
Wand	[%]	2	2	5	10	15	20	25	30
Dach	[%]	2	2	5	10	15	20	25	30
Fenster	[%]	2	2	25	30	60	70	70	80
Unterer Gebäudeabschluss	[a]	250	200	200	150	150	100	100	80

Für das Jahr 2008 betrug der Heizwärmebedarf nach Variante V2 in den drei Landkreisen zwischen 1,3 % und 1,6 % weniger als in Variante V1. Die resultierenden Abweichungen im Heizwärmebedarf der unterschiedlichen Gebäudetypen und der zugehörigen Baualtersklassen sind entsprechend geringer und können graphisch nicht mehr dargestellt werden. Auf eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden Varianten für die Ausgangslage wird daher verzichtet und die Variante V1 als Ausgangslage für die Situation im Jahr 2008 verwendet.

3.6.1.1 Ausgangslage im Landkreis Ebersberg

Unter den zuvor geschilderten Annahmen ergibt sich in der Ex-Post-Betrachtung des Zeitraumes bis zum Jahr 2008 der in **Abb. 3-14** dargestellte Verlauf des Heizwärmebedarfs der drei Gebäudetypen EFH, ZFH und MFH im Landkreis Ebersberg.

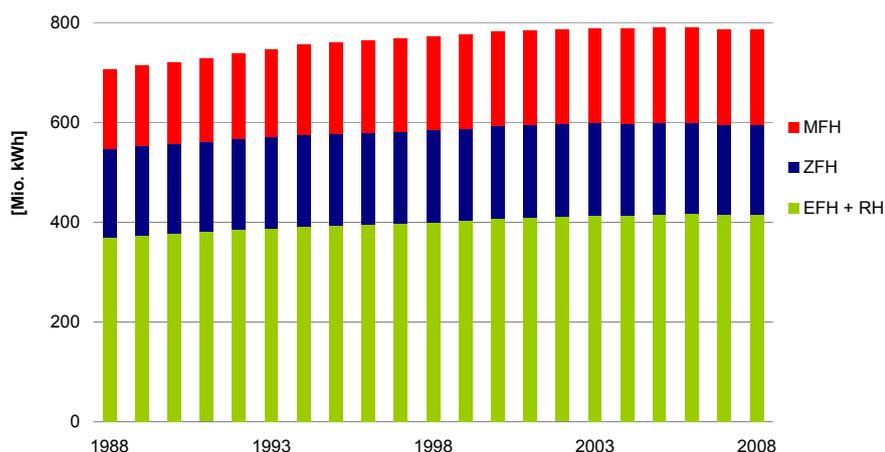


Abb. 3-14. Entwicklung des Heizwärmebedarfs der Wohngebäude im Landkreis Ebersberg im Zeitraum 1988 - 2008 unterschieden nach Gebäudetypen.

Nach einem Anstieg bis zum Jahr 2006 beginnt der Gesamtbetrag des Heizwärmebedarfs ab dem Jahr 2007 zu sinken und beträgt im Jahr 2008 ca. 155 kWh/(m² · a) oder 6.250 kWh je Einwohner und Jahr. Der Anteil der unterschiedlichen Gebäudetypen am Heizwärmebedarf ist über den gesamten Zeitraum nahezu konstant und beträgt für die Einfamilienhäuser ca. 53 % für die Zweifamilienhäuser ca. 23 % und für die Mehrfamilienhäuser ca. 24 %. Die Darstellung der Anteile der einzelnen Baualtersklassen am Heizwärmebedarf der Einfamilienhäuser enthält **Abb. 3-15**.

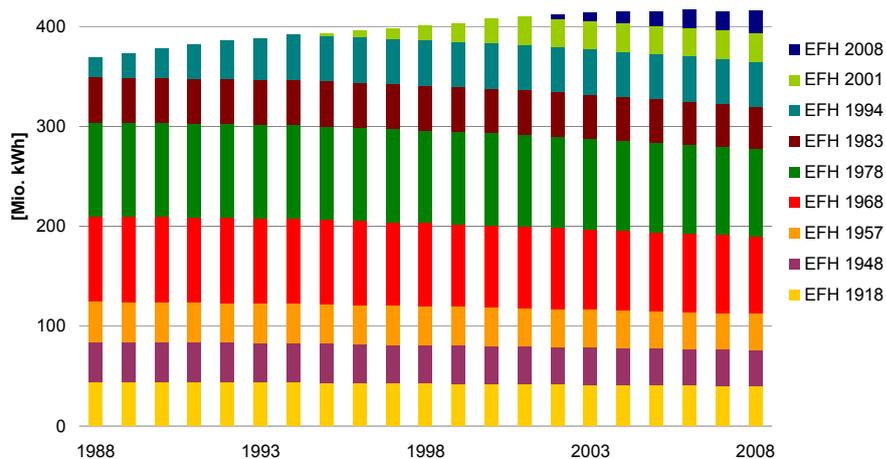


Abb. 3-15. Anteile der einzelnen Baualtersklassen am Heizwärmebedarf der Einfamilienhäuser im Landkreis Ebersberg im Zeitraum 1988-2008.

Während bis etwa Mitte der 90er Jahre die Zunahme des Heizwärmebedarfs der EFH immer geringer wird, steigt sie ab 1995 wieder etwas stärker an. Mit Beginn des 21. Jahrhunderts geht die Zunahme jedoch bis zum Jahr 2006 trotz anhaltender Neubautätigkeit auf Null zurück. Der Anstieg ab Mitte der 90er Jahre kann durch die zu diesem Zeitpunkt verstärkte Neubautätigkeit begründet werden, die nach der Binnenwanderung der Bevölkerung in Folge der Wiedervereinigung bei den Einfamilienhäusern etwas verzögert eintrat. Der Bautätigkeit der 60er und 70er Jahre entsprechend hoch ist der Anteil des Heizwärmebedarfs der Baualtersklassen 1968 und 1978. Bezogen auf den gesamten Heizwärmebedarf der EFH beanspruchen diese beiden Altersklassen zusammen ca. 40 % des Bedarfs, während ihr Anteil an der Wohnfläche aller Einfamilienhäuser nur ca. 30 % beträgt.

Wie **Abb. 3-16** zeigt, hat in der Gruppe der Mehrfamilienhäuser der verstärkte Neubau aufgrund der oben angesprochenen Binnenwanderung in den Jahren 1992 bis 1994 seinen Höhepunkt. Analog dazu steigt die Zunahme des Heizwärmebedarfs in diesen Jahren ebenfalls besonders stark an, um dann bis zum Jahr 2005 auf Null zurückzugehen. Der Bedarf dieser Gebäudegruppe beginnt ab dem Jahr 2006 zu sinken. Wie bei den Einfamilienhäusern ist auch bei den Mehrfamilienhäusern die rege Bautätigkeit in den 60er und 70er Jahren im Heizwärmebedarf deutlich erkennbar.

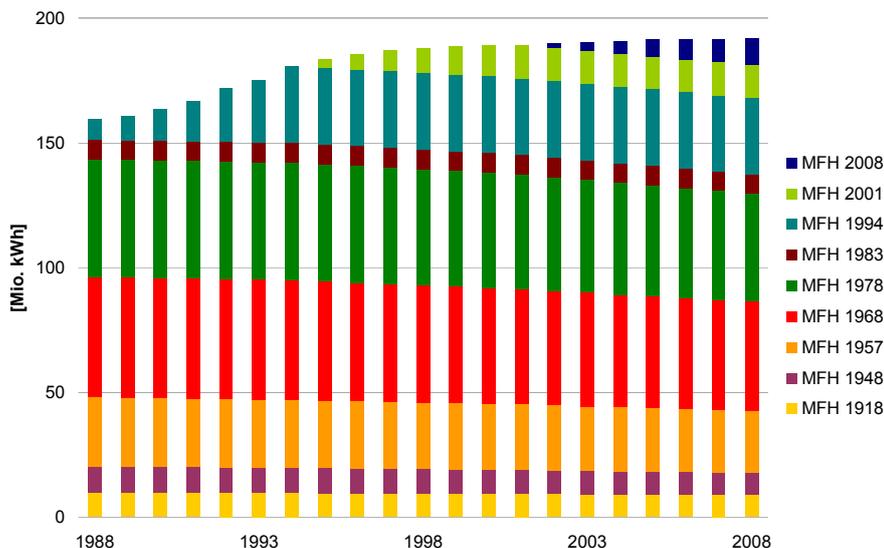


Abb. 3-16. Anteile der einzelnen Baujahrsklassen am Heizwärmebedarf der Mehrfamilienhäuser im Landkreis Ebersberg im Zeitraum 1988-2008.

Einen Überblick über das Verhältnis zwischen der Anzahl der zur Sanierung anstehenden und den unter den geschilderten Annahmen sanierten Gebäudewänden vermittelt die folgende Abbildung. Sie stellt die Entwicklung der Sanierungsquote der Wände aller Gebäudetypen in den verschiedenen Baujahrsklassen im Landkreis Ebersberg für den Zeitraum 1994-2006 dar. Die dunklen Linien zeigen die Quote der tatsächlich energetisch verbesserten Wände, während die hell schattierten Linien das Sanierungspotential der eigentlich zur Sanierung anstehenden Wände darstellt.

Besonders augenfällig ist in **Abb. 3-17**, dass die Sanierungsquote nur bei den Wänden der Baujahrsklasse 1968 im betrachteten Zeitraum über die 1 %-Marke steigt und bei den anderen Gebäudegruppen unter 1 % verbleibt. Betrachtet man die hell schattierten Linien, die die Quote der anstehenden Sanierungen zeigt, so wird das enorme Potenzial verdeutlicht, dass durch die Durchführung von Sanierungen ohne energetische Verbesserungen nicht zur Minderung des Energiebedarfs in den letzten Jahren gewonnen werden konnte.

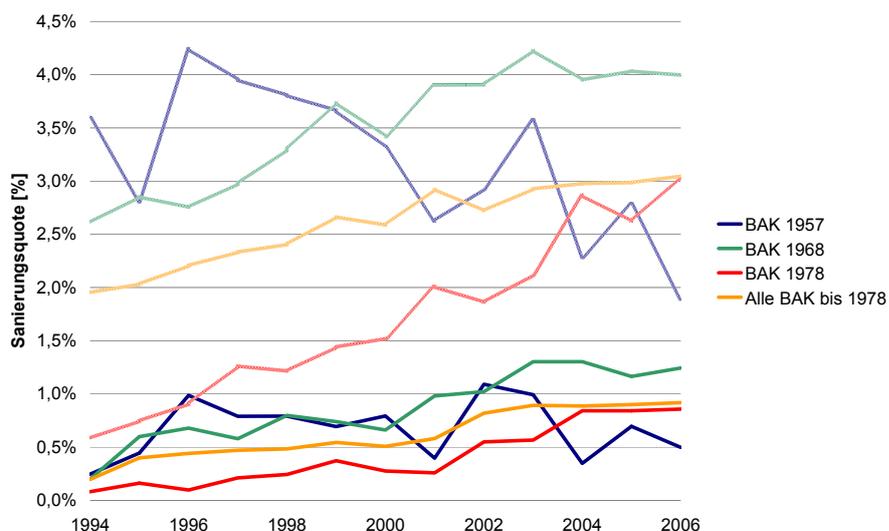


Abb. 3-17. Quote der anstehenden und der möglichen Sanierungen von Wänden der Baualtersklassen 1957, 1968 und 1978 im Zeitraum 1994-2006.

Der Verlauf der Wandsanierungsquoten der Baualtersklassen 1968 und 1978 lässt erkennen, dass sich diese Bauteile im Bereich stark ansteigender Ausfallraten befinden, während die Ausfallrate der Baualtersklasse 1957 wieder im Sinken begriffen ist. Für große Teile der Wände dieser Baualtersklasse stand demnach eine Sanierung schon in den vergangenen Jahren an. Nach Baualtersklassen aufgeschlüsselt zeigen sich die großen Unterschiede in den Beiträgen zu einer kumulierten Sanierungsquote. In den drei dargestellten Baualtersklassen ist der Unterschied zwischen Quoten der anstehenden Sanierungen in der zweiten Hälfte der 90er Jahre besonders hoch.

3.6.1.2 Ausgangslage im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Jahr 2008

Im Landkreis Erlangen-Höchstadt steigt der Heizwärmebedarf aller Wohngebäude unter den Annahmen der Variante V1 bis zum Jahr 2002 an, nachdem die höchsten Zuwächse im Jahr 1994 stattgefunden haben, um dann ab dem Jahr 2003 leicht abzusinken. Die Entwicklung des Heizwärmebedarfs der Wohngebäude dieses Landkreises unterschieden nach EFH, ZFH und MFH ist in **Abb. 3-18** dargestellt.

Der Mittelwert des Heizwärmebedarfs aller Wohngebäude im Landkreis Erlangen-Höchstadt beträgt im Jahr 2008 $175 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Je Einwohner werden jährlich ca. 8.500 kWh Heizwärme benötigt. Trotz ähnlicher Besiedelungsdichte wie im Landkreis Ebersberg beträgt der Anteil der Einfamilienhäuser am Heizwärmebedarf im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Jahr 2008 ca. 59 % und damit ca. 7 %-Punkte mehr als im Landkreis Ebersberg. Im Jahr 1988 betrug der Anteil der EFH noch ca. 62 %, sank dann jedoch zu Gunsten des steigenden Anteils der Mehrfamilienhäuser etwas ab.

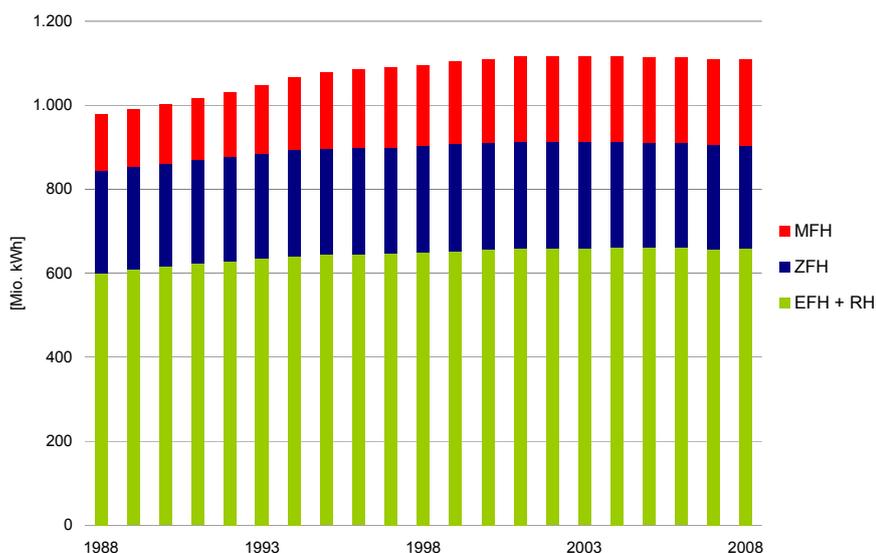


Abb. 3-18. Heizwärmebedarf der Wohngebäude im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Zeitraum 1988 - 2008 unterschieden nach Gebäudetypen.

Die Verteilung des Heizwärmebedarfs auf die verschiedenen Baualtersklassen der Einfamilienhäuser enthält **Abb. 3-19**. Wie auch im Landkreis Ebersberg übersteigt der Anteil des Heizwärmebedarfs der Baualtersklassen 1968 und 1978 mit ca. 41 % den Wohnflächenanteil dieser Baualtersklasse von 35 % deutlich.

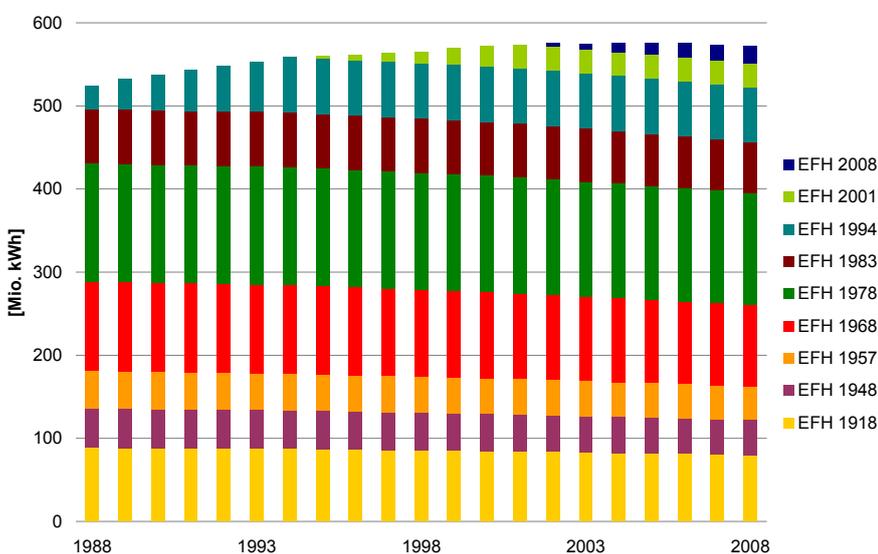


Abb. 3-19. Anteile der einzelnen Baualtersklassen am Heizwärmebedarf der Einfamilienhäuser im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Zeitraum 1988 - 2008.

Auch im Landkreis Erlangen-Höchstadt ist die vermehrte Bautätigkeit der 60er und 70er Jahre in der Zusammensetzung des Heizwärmebedarfs der Einfamilienhäuser deutlich erkennbar. Wie **Abb. 3-20** zeigt, steigt der Heizwärmebedarf der Mehrfamilienhäuser in

der ersten Hälfte der 90er Jahre besonders stark an. Mitte der 90er Jahre ist im Verlauf der Kurve ein Wendepunkt erkennbar, ab dem die Zunahme im Heizwärmebedarf deutlich sinkt. Auch hier sind die Zuwächse im Heizwärmebedarf der Gebäude auf die verstärkte Neubautätigkeit der 90er Jahre infolge der Wiedervereinigung zurückzuführen.

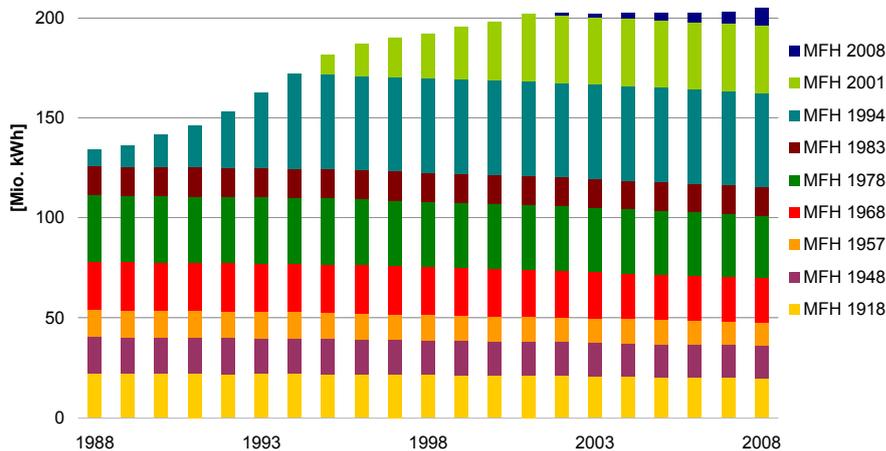


Abb. 3-20. Anteile der einzelnen Baualtersklassen am Heizwärmebedarf der Mehrfamilienhäuser im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Zeitraum 1988 - 2008.

Der Verlauf der Sanierungsquote stellt sich im Landkreis Erlangen-Höchstadt ähnlich wie im Abschnitt 3.6.1.1 beschrieben dar. Für alle Gebäude der Baujahre 1900-1979 betrug sie im Zeitraum 1994-2006 zwischen 0,4 % und 0,9 %. Die maximale Sanierungsquote weisen auch hier die Wände der Baualtersklasse 1968 mit ca. 1,3 % zwischen 2004 und 2006 auf.

3.6.1.3 Straubing-Bogen

Unter den Annahmen der Variante V1 steigt der Heizwärmebedarf der Wohngebäude im Landkreis Straubing-Bogen bis zum Jahr 2005 an und beginnt dann leicht zu sinken. Der mittlere Heizwärmebedarf aller Wohngebäude dieses Landkreises beträgt im Jahr 2008 ca. 200 kWh/(m² · a), je Einwohner wurden im Jahr 2008 11.320 kWh Heizwärme benötigt. Damit weist der Landkreis Straubing-Bogen den höchsten Heizwärmebedarf je m² Wohnfläche und je Einwohner der drei betrachteten Landkreise auf. Über den Zeitraum 1988-2008 teilt sich der Bedarf bis auf geringe Schwankungen zu 74 % auf die Einfamilienhäuser, zu 19 % auf die Zweifamilienhäuser und zu 7 % auf die Mehrfamilienhäuser auf. Der Verlauf des Heizwärmebedarfs der drei Gebäudetypen im Zeitraum 1988-2008 ist in **Abb. 3-21** dargestellt.

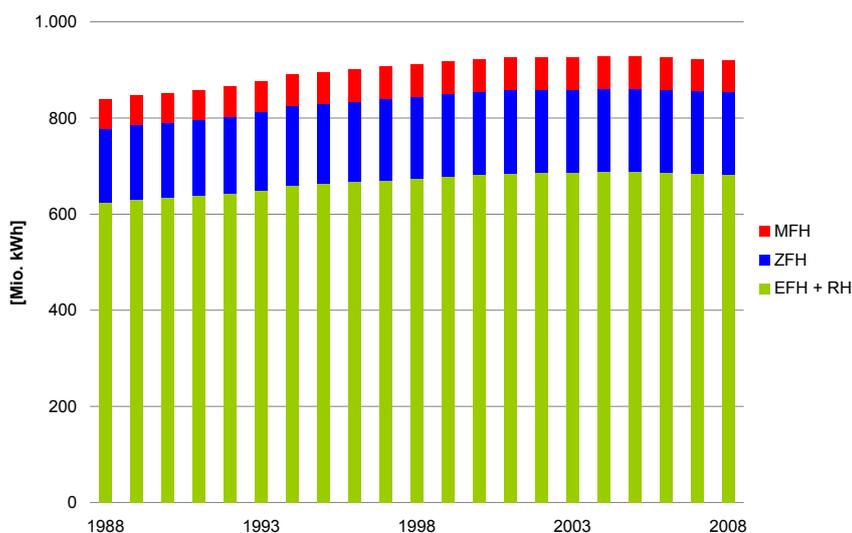


Abb. 3-21. Heizwärmebedarf der Wohngebäude im Landkreis Straubing-Bogen im Zeitraum 1988 - 2008 unterschieden nach Gebäudetypen.

In der Aufteilung des Heizwärmebedarfs der Einfamilienhäuser in die einzelnen Baujahrsklassen in **Abb. 3-22** fällt der hohe Anteil der Einfamilienhäuser der Baujahre 1918 besonders auf. Dieser ist auf die vergleichsweise große Wohnfläche dieser Gebäude zurückzuführen, die ausschlaggebend für die regionale Anpassung der Typgebäude ist und so zu entsprechend hohen Bauteilflächen führt.

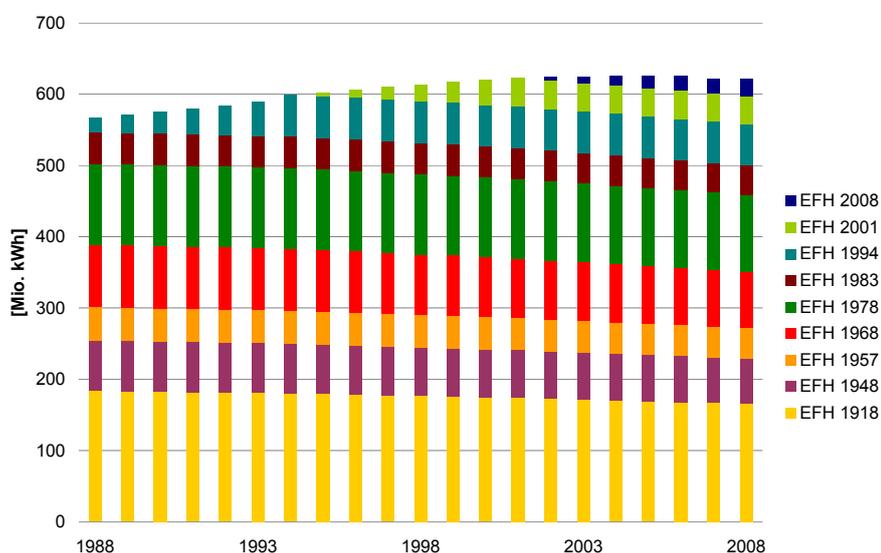


Abb. 3-22. Anteile der einzelnen Baujahrsklassen am Heizwärmebedarf der Einfamilienhäuser im Landkreis Straubing-Bogen im Zeitraum 1988 - 2008.

Die ländliche Prägung des Landkreises lässt jedoch darauf schließen, dass die Fläche der Einfamilienhäuser aus den Baujahren bis 1918 durch einen hohen Anteil von Bauernhäusern besonders hoch ist. Diese Gebäude werden in der Regel nur in Teil-

bereichen beheizt, so dass dieser Anteil im Heizwärmebedarf der Einfamilienhäuser dieser Baualtersklasse vermutlich überbewertet ist.

Wie **Abb. 3-23** veranschaulicht, stieg der Heizwärmebedarf der Mehrfamilienhäuser im Landkreis Straubing-Bogen analog zu den zuvor betrachteten Landkreisen nach der Wiedervereinigung ebenfalls deutlich an. Bezogen auf den gesamten Wärmebedarf des Landkreises handelt es sich allerdings nur um einen kleinen Teilbetrag, da der Anteil der Mehrfamilienhäuser hier nur 7 % beträgt.

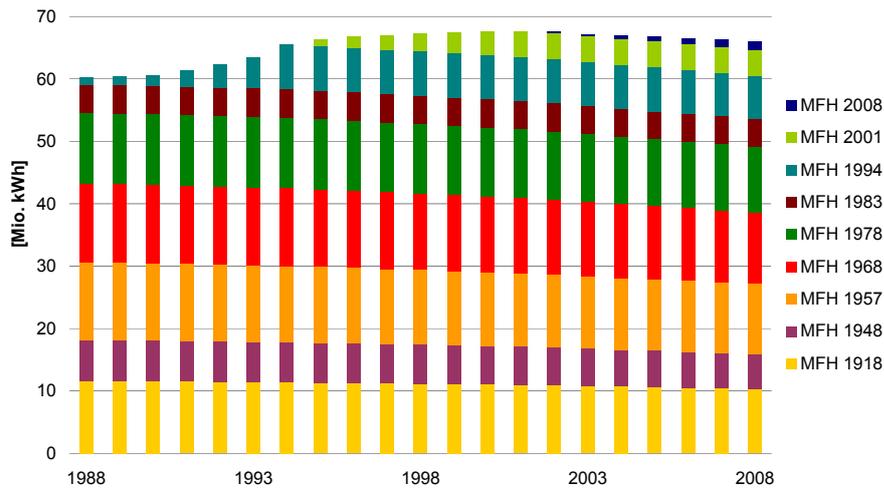


Abb. 3-23 Anteile der einzelnen Baualtersklassen am Heizwärmebedarf der Mehrfamilienhäuser im Landkreis Straubing-Bogen im Zeitraum 1988 - 2008.

Ebenfalls gut erkennbar ist der Rückgang des Heizwärmebedarfs der Mehrfamilienhäuser, der bereits seit dem Jahr 2002 sinkt. Der Verlauf der Sanierungsquote im Zeitraum 1994-2006 ist im Landkreis Straubing-Bogen fast deckungsgleich zu den im Abschnitt 3.6.1.1 dargestellten Werten und wird daher nicht näher erläutert.

3.6.2 Rahmenbedingungen für die szenarische Betrachtung

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Rahmenbedingungen für die Beschreibung der Szenarien zur zukünftigen Entwicklung des Heizwärmebedarfs der drei Landkreise erläutert. Nachdem in der Ex-Post-Analyse allein die Sanierungsaktivitäten als Unbekannte bestanden, stellen sich für die Betrachtung der zukünftigen Entwicklung die Bevölkerungsentwicklung, die Neubautätigkeit, der Gebäudeabgang, die Entwicklung der Wohnfläche je Einwohner, der Umfang der Sanierungstätigkeiten und die zukünftigen ordnungsrechtlichen Anforderungen als Variable dar. Für die wirtschaftliche Entwicklung der Landkreise werden gleich bleibende Bedingungen vorausgesetzt. Zur Einschätzung der Entwicklung der Variablen werden bekannte Zusammenhänge genutzt und entsprechend den vorhandenen Trends fortgeschrieben.

3.6.2.1 Bevölkerungsentwicklung

Die Bevölkerungsentwicklung stellt in Hinblick auf die Nachfrage nach Wohnraum in den drei Landkreisen einen wesentlichen Aspekt für die Annahmen zur zukünftigen Entwicklung des Gebäudebestands dar. Nachdem in den 90er-Jahren in vielen bayerischen Landkreisen ein starker Bevölkerungszuwachs durch die Binnen- und Zuwanderung in Deutschland zu verzeichnen war, findet besonders in den südlichen Landkreisen Bayerns auch heute noch ein reger Zuzug statt. Eine Antwort auf die Frage nach der zukünftigen regionalen Bevölkerungsentwicklung in Bayern bis zum Jahr 2025 gibt die 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Bundes und der Länder, die im Mai 2007 veröffentlicht wurde [30]. Unter gemeinsam abgestimmten Annahmen über die zukünftige Entwicklung der Geburten, der Sterbefälle sowie der Wanderungsbewegungen wurde darin die Einwohnerentwicklung des Bundes und der Länder vorausgerechnet. Nach dieser Veröffentlichung ist die Zahl der Geburten je Frau im Freistaat Bayern seit Jahrzehnten konstant, so dass diese Tatsache auch als Bedingung für die zukünftige Entwicklung verwendet wurde. Ebenso wie auf Bundesebene steigt die Lebenserwartung in Bayern weiter an, während die Einwohnerzahl durch Zuwanderung noch immer zunimmt. Unberücksichtigt für die Entwicklung auf Landesebene bleibt allerdings die bayerische Binnenwanderung, da diese die Einwohnerzahl Bayerns nicht beeinflusst.

Anders als auf Landesebene stellt die bayerische Binnenwanderung die wichtigste Komponente der regionalisierten Bevölkerungsvorausberechnung [31] dar, die im August 2007 vom bayerischen Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung veröffentlicht wurde. Demnach wird in den südlichen bayerischen Landkreisen um den Großraum München die Bevölkerungszahl weiter anwachsen, die Landkreise Erding, Freising, Landsberg am Lech, München und Landshut werden sogar um 10 % an Bevölkerung zunehmen.

In **Abb. 3-24** ist die Bevölkerungsentwicklung in den drei Landkreisen seit dem Jahr 1990 sowie die Prognose der Bevölkerungsentwicklung in der regionalisierten Bevölkerungsvorausberechnung bis zum Jahr 2025 aufgetragen. Die Entwicklung im Zeitraum 2025-2030 wurde anhand der Tendenzen im Zeitraum 2008-2025 weiterentwickelt. Zu Beginn der 90er Jahre ist ein starker Anstieg der Bevölkerungszahl insbesondere in den Landkreisen Erlangen-Höchstadt und Ebersberg zu verzeichnen. Während diese aus der Binnen- und Zuwanderung in Deutschland resultierende Entwicklung im Landkreis Erlangen-Höchstadt ab den Jahren 2001/2002 deutlich abnahm, hält die Bevölkerungszunahme im Landkreis Ebersberg voraussichtlich noch bis in die 20er Jahre des 21. Jahrhunderts an. Im Landkreis Erlangen-Höchstadt ist bis zum Jahr 2025 mit gleich bleibenden bis leicht absinkenden Bevölkerungszahlen zu rechnen, während im Landkreis Straubing-Bogen ein Bevölkerungswachstum von 2,2 -5,0 % für den gleichen Zeitraum vorausgerechnet wird.

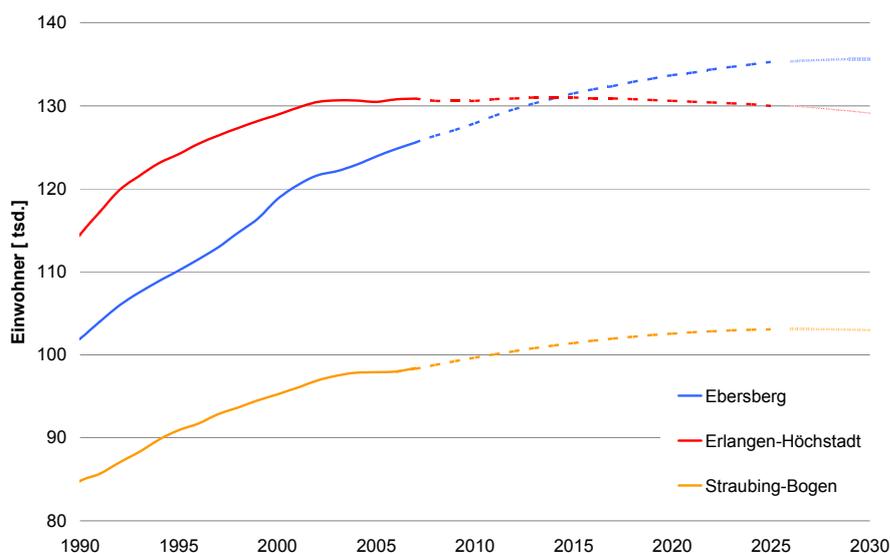


Abb. 3-24. Bevölkerungsentwicklung in den drei betrachteten Landkreisen im Zeitraum 1990-2030 nach [31] und eigenen Berechnungen.

In der Erläuterung der Grundlagen und Annahmen für die Bevölkerungsvorausberechnung des bayerischen statistischen Landesamtes wird mit Nachdruck auf den Wenn-Dann-Charakter der Modellrechnungen hingewiesen, da schon auf Landesebene die Formulierung tragfähiger Annahmen sehr schwierig sei. Die dargestellte Entwicklung ist daher nur unter Einhaltung der Annahmen für die Berechnung zu erwarten und kann im Einzelfall durch singuläre Ereignisse stark von der Prognose abweichen.

3.6.2.2 Entwicklung der Wohnfläche je Einwohner

Die Tendenzen und Ursachen der Entwicklung der Wohnfläche je Einwohner in den vergangenen 20 Jahren wurden bereits in Abschnitt 3.1.1.3 erläutert. Dabei wurde die stetig zunehmende Wohnfläche je Einwohner zum Großteil auf den wachsenden Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser am Gebäudebestand und die steigende Anzahl von 1-2 Personenhaushalten zurückgeführt. Auch in Zukunft muss davon ausgegangen werden, dass dieser Trend anhält. Nach Angaben der Bundeszentrale für politische Bildung [32] besteht eine Besonderheit in der Entwicklung der letzten Jahre darin, dass der Anteil der 1-Personenhaushalte die Anteile aller anderen Haushaltstypen in Deutschland seit dem Jahr 2006 übertrifft. Vom statistischen Bundesamt werden als Ursachen für diese Entwicklung der Rückgang der Geburtenziffer sowie die Zunahme der Lebenserwartung genannt. Weitere Gründe für die Zunahme der 1-Personenhaushalte seien Veränderungen im Heiratsverhalten, der Familiengründungsprozesse und der Familienformen. Die Zahl der Eheschließungen sank im Zeitraum zwischen 1991 und 2005 um mehr als 14 %, während im gleichen Zeitraum die Anzahl der Scheidungen um 48 % und damit auch der Anteil der Alleinerziehenden und der Singles gestiegen ist. Weitere Gründe für die zunehmende Wohnfläche je Einwohner sind die wachsenden

Komfortbedürfnisse der Menschen, wie auch die hohe individuelle Mobilität, die die tägliche Bewältigung großer Entfernungen ermöglicht.

In den drei betrachteten Landkreisen war der Anstieg der Wohnfläche je Einwohner in den letzten 20 Jahren unterschiedlich stark ausgeprägt. Entsprechend den hohen Grundstücks- und Mietpreisen und dem hohen Anteil an Mehrfamilienwohngebäuden wies der Anstieg der Wohnfläche je Einwohner im Landkreis Ebersberg eine geringere Steigung als in den Landkreisen Erlangen-Höchstadt und Straubing-Bogen auf. Schreibt man den Trend der vergangenen Jahre gemäß den oben genannten Rahmenbedingungen weiter fort, so ist ein weiterer Anstieg der Wohnfläche im Landkreis Straubing-Bogen auf ca. 55 m²/Einwohner, im Landkreis Erlangen-Höchstadt auf ca. 54 m²/Einwohner und im Landkreis Ebersberg auf ca. 46 m²/Einwohner zu erwarten. In **Abb. 3-25** ist die Entwicklung der Wohnfläche in den vergangenen 20 Jahren für alle drei betrachteten Landkreise dargestellt. Die Fortschreibung des jeweiligen Trends ist in der Farbe des Landkreises in gestrichelter Form aufgetragen.

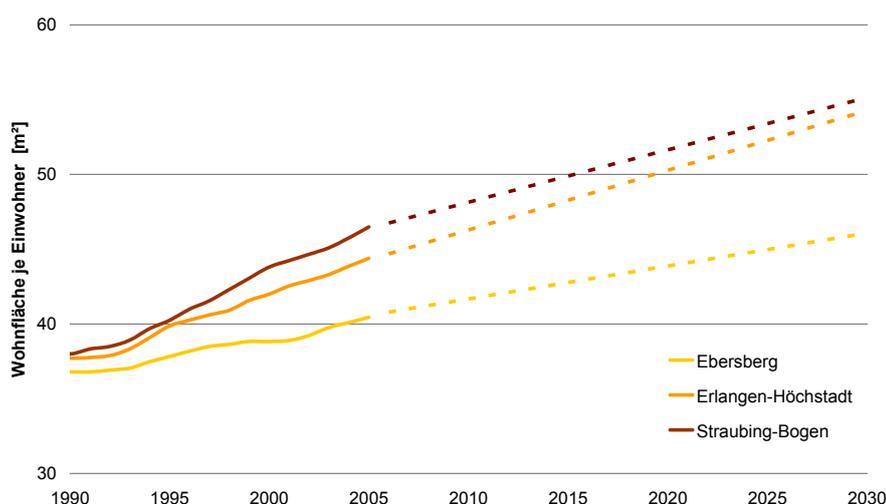


Abb. 3-25. Entwicklung der Wohnfläche je Einwohner in den drei betrachteten Landkreisen.

3.6.2.3 Gebäudeabgang

Der Abriss von Gebäuden in den Landkreisen in Bayern wird vom bayerischen statistischen Landesamt seit der Wohnflächenzählung im Jahr 1987 jährlich dokumentiert. Dabei wird der Gebäudeabgang nach den Baujahren bis 1918, 1919-1948, 1949-1962 und 1963-1970 sowie nach der Anzahl der Wohneinheiten in den Gebäuden unterschieden. Im gesamten Zeitraum zwischen 1988 und 2007 schwankt die Menge der jährlich abgerissenen Gebäude innerhalb der Baualtersgruppen von Jahr zu Jahr erheb-

lich, so dass für die Bestimmung der Abrissquote nur die Mittelwertbildung verwendet werden kann. Eine Unterscheidung nach Gebäudegrößenklassen erscheint aufgrund der geringen Datenmenge als nicht sinnvoll. In allen drei Landkreisen ist der Anteil des Gebäudeabgangs der Gebäude der Baujahre 1919-1948 mit ca. 0,2 % am höchsten, den Mittelwert mit ca. 0,15 % Abrissquote bildet die Gruppe der Baujahre bis 1918. Die geringste Abrissquote mit ca. 0,1 % weist die Gebäudegruppe der Baujahre ab 1949 auf. Mit steigendem Baualter der Gebäude wird davon ausgegangen, dass sich die Abrissquoten weiter steigern und auch in den nachfolgenden Baualtersklassen der Gebäudeabgang zunimmt. Daher werden innerhalb des Modells auch die Abrissquoten der Gebäude variiert. Die hier angenommenen Quoten sind in **Tab. 3-5** zusammengestellt.

Da durch die Wohnflächenzählung im Jahr 1987 der Wohngebäudebestand vollständig erfasst wurde, erfolgt die Berücksichtigung des Gebäudeabgangs innerhalb des Simulationsmodells erst ab dem Jahr 1988. Dazu werden die Gebäude mehrerer Baujahre zusammengefasst und daraus eine Liste möglicher Kandidaten erstellt. Aus dieser Liste werden die abzureißenden Gebäude durch Zufallszahlen ausgewählt und bei den entsprechenden Gebäuden das Abrissjahr eingetragen. Ab diesem Zeitpunkt wird das Gebäude sowohl bei der Lebenszyklussimulation als auch später bei der Heizwärmebedarfsberechnung nicht mehr berücksichtigt.

Tab. 3-5. Angenommene Abrissquoten verschiedener Gebäudealtersgruppen in vier Zeitabschnitten zwischen 1988 und 2030 in [%].

Gebäudebaujahre	1988 – 2007	2008 - 2015	2015 - 2024	2025 - 2030
bis 1918	0,15	0,20	0,20	0,20
1919-1948	0,20	0,20	0,20	0,20
1949-1957	0,10	0,15	0,20	0,20
1958-1968	0,05	0,10	0,15	0,20
1969-1978	-	0,05	0,10	0,10
1979-1983	-	-	0,10	0,10
1984-1994	-	-	-	0,05

3.6.2.4 Neubau in den Jahren 2009-2030

Der Neubau von Wohngebäuden wird in seinem Umfang im Wesentlichen von der Bevölkerungsentwicklung, der Entwicklung der Wohnfläche je Einwohner sowie dem jährlichen Abgang von Gebäuden beeinflusst. Während in den vorausgehenden Abschnitten die zu erwartenden Entwicklungstendenzen dieser drei Komponenten beschrieben wurden, sollen in diesem Abschnitt ihre Auswirkungen auf die Entwicklung des Wohngebäudebaus beschrieben werden. Es wurde vorausgesetzt, dass durch gleich bleibende wirtschaftliche Rahmenbedingungen eine Vergrößerung der

Wohnfläche des Gebäudebestands proportional zu der Bevölkerungszunahme stattfindet.

Die jährlich im Neubau herzustellende Wohnfläche ergibt sich damit als Produkt aus der mittleren Wohnfläche je Einwohner eines Landkreises und der jährlichen Zunahme der Bevölkerungszahl. Die Zunahme an Wohnfläche durch die Vergrößerung der Wohnfläche je Einwohner wurde durch Multiplikation der gesamten Bevölkerungszahl mit der jährlichen Differenz der durchschnittlichen Wohnfläche aufeinander folgender Jahre multipliziert. Nach Addition dieser beiden Flächenanteile wurde mit der durchschnittlichen Fläche je Wohneinheit des Landkreises die Anzahl der neu zu errichtenden Wohneinheiten berechnet. Die Verteilung der neuen Wohneinheiten auf die unterschiedlichen Gebäudegrößen erfolgte über deren durchschnittliche Anteile an den Neubauten in der statistischen Erfassung des Neubaus der Jahre 1988-2007. Den Veränderungen in der Neubaustruktur, die sich insbesondere im gestiegenen Anteil an Einfamilienhäusern der letzten Jahre ausdrückten, wird bei dieser Vorgehensweise durch die Zunahme der Wohnfläche je Einwohner Rechnung getragen. In **Abb. 3-26** ist die Entwicklung der Wohnfläche im Landkreis Ebersberg im Zeitraum 1988-2006 sowie die weitere Entwicklung bis zum Jahr 2030 unter den zuvor geschilderten Annahmen aufgetragen. Der Neubauanteil durch den Bevölkerungszuwachs nimmt analog zur prognostizierten Bevölkerungszunahme bis zum Jahr 2025 zu. Eine deutlich stärkere Zunahme der Wohnfläche ergibt sich im Landkreis Ebersberg aus der Vergrößerung der durchschnittlichen Wohnfläche je Einwohner.

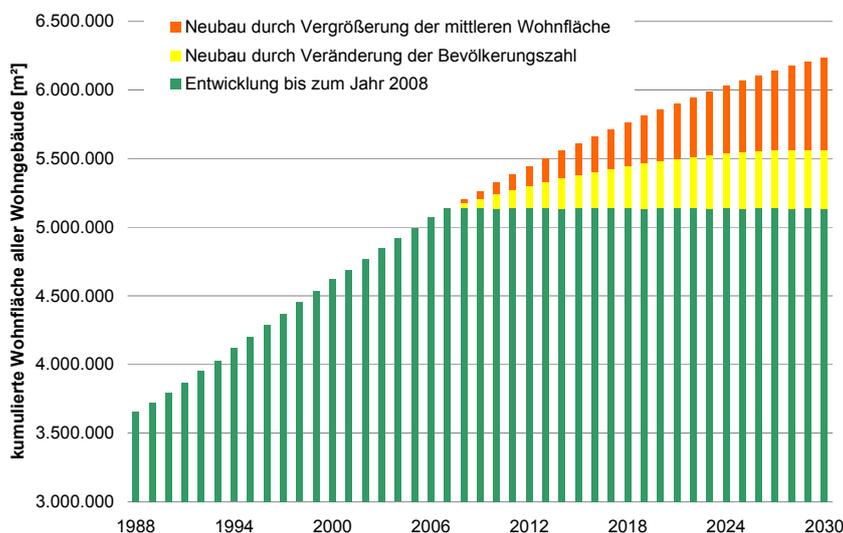


Abb. 3-26. Entwicklung der Wohnfläche im Landkreis Ebersberg im Zeitraum 1988-2008 sowie prognostizierte Entwicklung der Wohnflächenzunahme.

Ein davon abweichendes Bild der zukünftigen Entwicklung der Neubaufäche ergibt sich im Landkreis Erlangen-Höchstadt. Wie schon in **Abb. 3-24** aufgetragen, steigen die

Bevölkerungszahlen in diesem Landkreis bereits heute nur noch sehr wenig; ab dem Jahr 2015 wird seitens des statistischen Landesamtes mit einer Verringerung der Bevölkerungszahlen gerechnet. Damit findet zwar weiterhin eine Zunahme der Wohnfläche im Landkreis Erlangen-Höchstadt statt. Wie in den folgenden Abb. 3-27 und Abb. 3-28 dargestellt, resultiert dies jedoch allein aus der Zunahme der durchschnittlichen Wohnfläche je Einwohner.

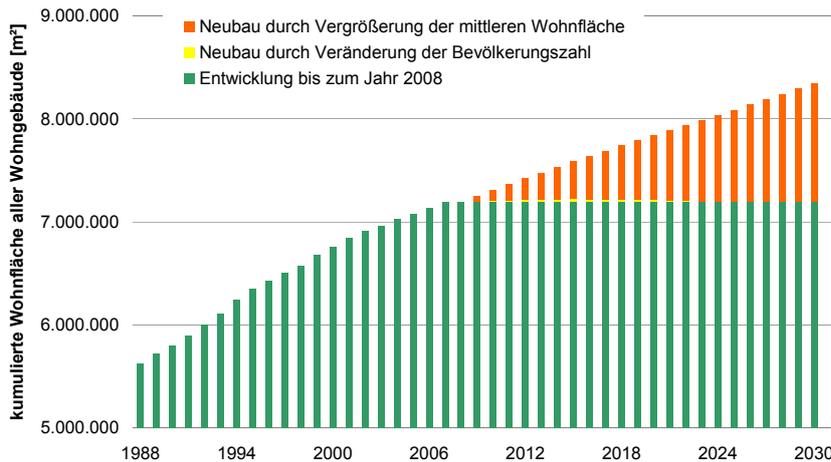


Abb. 3-27. Entwicklung der Wohnfläche im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Zeitraum 1988-2008 sowie prognostizierte Entwicklung der Wohnflächenzunahme.

Da diese Entwicklung in **Abb. 3-27** aufgrund der geringen Zahlenwerte im Rückgang der erforderlichen Wohnfläche aus der Bevölkerungszahl nicht erkennbar ist, sind die berechneten Neubauzuwächse ab 2008 in **Abb. 3-28** gesondert aufgetragen.

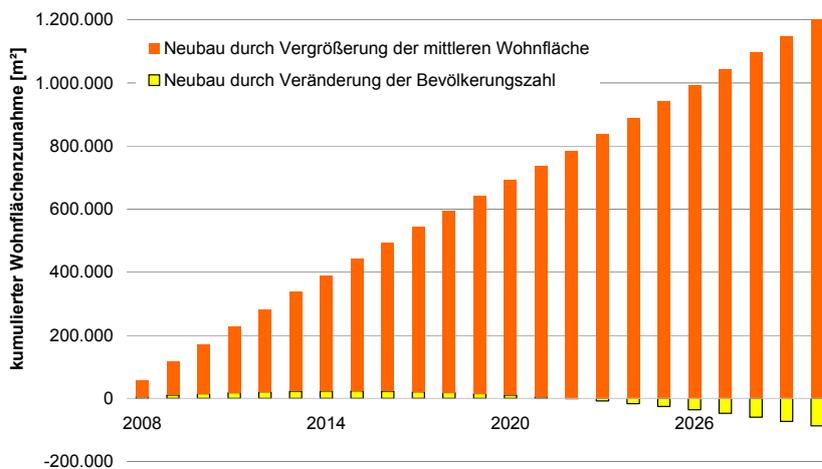


Abb. 3-28. Entwicklung der Neubaufläche im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Zeitraum 2008-2030.

In **Abb. 3-29** ist die berechnete Neubauentwicklung im Landkreis Straubing-Bogen dargestellt. Auch in diesem Landkreis lassen sich die Entwicklungstendenzen der Bevölkerung deutlich anhand der nur noch leicht ansteigenden gelben Säulen erkennen, hingegen die Zunahme der Gesamtwohnfläche durch die Zunahme der durchschnittlichen Wohnfläche je Einwohner auch hier ein Vielfaches beträgt.

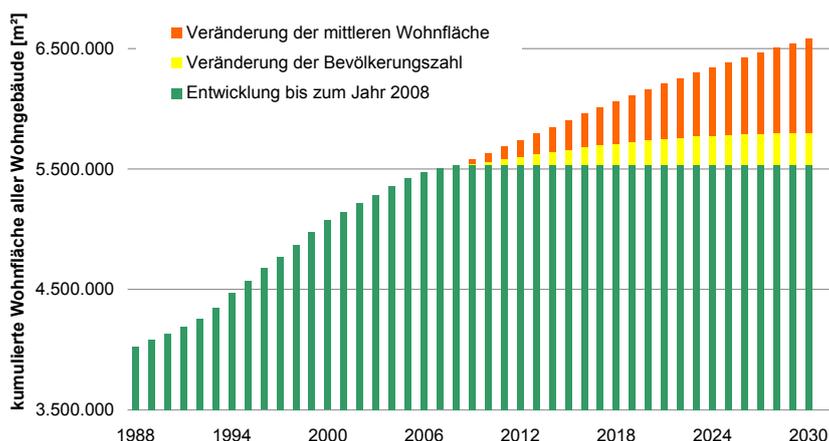


Abb. 3-29. Entwicklung der Wohnfläche im Landkreis Straubing-Bogen im Zeitraum 1988-2008 sowie prognostizierte Entwicklung der Wohnflächenzunahme.

Der Neubau durch Gebäudeabgang in den drei betrachteten Landkreisen wurde von den Entwicklungen der Bevölkerungszahlen und der Wohnfläche entkoppelt betrachtet. Da die Menge der jährlich abgerissenen Gebäude sehr gering ist und keine Informationen über den Ersatzneubau der einzelnen Gebäude vorliegen, wird davon ausgegangen, dass für jedes abgerissene Gebäude ein Gebäude gleichen Typs wieder errichtet wird. Die Wohnfläche des neu errichteten Gebäudes wird entsprechend der typischen Bauweise zum Abrissdatum angenommen und damit der Datensatz des jeweils aktuellen Typgebäudes hinterlegt. Aufgrund der bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes ansteigenden Gesamtwohnfläche in allen drei betrachteten Landkreisen ist der Ersatz des Gebäudeabganges notwendig, um die steigende Nachfrage nach Wohnraum zu erfüllen.

Die Definition der Typgebäude für die Neubauten ab dem Jahr 2009 wird in Anlehnung an die Typgebäude der letzten Jahre vorgenommen. Dabei werden die Flächen sowie die Durchbildung der jeweiligen Typgebäude für die neuen Typgebäude übernommen. Die Wärmedurchgangskoeffizienten werden gemäß den Erläuterungen im Abschnitt 3.6.2.5 angesetzt.

3.6.2.5 Zukünftige Anforderungen an den Wärmeschutz von Wohngebäuden

Nach dem Inkrafttreten der EnEV 2009 wird von der Bundesregierung die nächste Novellierung der EnEV für das Jahr 2012 geplant. Damit soll die zweite Stufe in der Verschärfung der Anforderungen erreicht werden, die als Konsequenz der Meseberger Beschlüsse [33] aus dem Jahr 2007 für den Klimaschutz im Gebäudebereich geplant wurde. Die Anforderungen sollen in diesem Schritt noch einmal um ca. 30 % verschärft werden. Im weiteren Zeitraum bis zum Jahr 2020 wird nach den Meseberger Beschlüssen das Ziel verfolgt, die Anforderungen stufenweise den Randbedingungen durch den Stand der Technik und der Entwicklung der Energiepreise anzupassen. Neubauten sollen nach diesem Zeitraum möglichst unabhängig von fossilen Energieträgern beheizt werden können.

Auf der Grundlage der von der Bundesregierung formulierten Ziele zur Verschärfung der EnEV nach der Novelle im Jahr 2009 wird in der Simulation der zukünftigen Entwicklung eine weitere Novelle der EnEV für das Jahr 2012 angenommen und die U-Werte für die energetisch zu sanierenden Bauteile um 30 % verringert. Die resultierenden U-Werte der bedingten Anforderungen befinden sich nach der Novelle im Jahr 2012 bereits in unmittelbarer Nähe zum Anforderungsniveau des Passivhauses. Als nächster Schritt wird von einer weiteren Novelle der Anforderungen im Jahr 2015 ausgegangen, durch die die bedingten Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten im Bestand auf Passivhausniveau angehoben werden.

Im Neubau wird von den gleichen Verschärfungen in den Anforderungen in zwei Stufen ausgegangen. Allerdings werden die U-Werte der neu errichteten Gebäude im Gültigkeitszeitraum der EnEV 2009 etwas besser angenommen als für die energetisch sanierten Gebäude. Ab dem Jahr 2015 wird von einer Verringerung der Luftwechselrate $0,3 \text{ h}^{-1}$ im Neubau ausgegangen, die durch den Einbau kontrollierter Lüftungsanlagen erzielt werden kann und den nächsten erforderlichen Schritt für die Reduktion der Verluste darstellt. In **Tab. 3-6** sind die Annahmen zu den Höchstwerten der Wärmedurchgangskoeffizienten in Neubau und Bestand ab dem Jahr 2012 für die szenarische Betrachtung zusammengestellt.

Tab. 3-6. Annahmen zu den Höchstwerten der Wärmedurchgangskoeffizienten im Neubau und bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen der zukünftigen Novellen der Energieeinsparverordnung.

Bauteil	Max. U-Wert [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	
	EnEV 2012	EnEV 2015
Außenwände	0,17	0,12
Decken oder Dach	0,17	0,10
Fenster	1,00	0,80
Kellerdecke bzw. Erdgeschossfußboden	0,20	0,15

3.6.3 Szenarien zur Entwicklung des Heizwärmebedarfs in den drei Landkreisen

In den folgenden Abschnitten werden mögliche Entwicklungen des Heizwärmebedarfs der Wohngebäude in den drei betrachteten Landkreisen vorgestellt. Entsprechend dem Ziel der Modellierung sollen dadurch Entwicklungstendenzen unter verschiedenen Annahmen sowie die Bedeutung der einzelnen Einflussparameter in der Berechnung im Ergebnis bewertet werden können. Zur Berechnung der möglichen zukünftigen Entwicklung des Heizwärmebedarfs in den drei betrachteten Landkreisen werden die nachfolgend beschriebenen Szenarien definiert, die eine obere und eine untere Grenze sowie mittlere Entwicklungstendenzen aufzeigen sollen. Die in Kapitel 3.6.2 geschilderten Annahmen zu den Rahmenbedingungen werden in allen szenarischen Betrachtungen gleich angesetzt.

Szenario gleich bleibende Sanierungsaktivität (40 %-Szenario)

Im 40 %-Szenario wird unterstellt, dass vom Jahr 2009 an der Anteil der energetischen Sanierungen an den anstehenden Sanierungen gleich bleibend bis zum Jahr 2030 40 % beträgt. Als „energetische Sanierungen“ werden alle Sanierungen bezeichnet, die eine Verbesserung des Wärmeschutzes beinhalten, die „anstehenden Sanierungen“ umfassen alle im betrachteten Jahr fälligen Sanierungen, die sich aus der Lebenszyklusanalyse ergeben. Damit soll die ungünstigste Entwicklung der Sanierungsaktivitäten abgebildet werden, in der weniger als die Hälfte aller Gebäude energetisch saniert werden. Um den Einfluss der für das Jahr 2015 angenommenen Novelle der EnEV einschätzen zu können, wird in diesem Szenario im Gegensatz zum Folgenden davon ausgegangen, dass die letzte Novelle der EnEV im Jahr 2012 stattfindet. Dafür werden ab dem Jahr 2012 die Werte gemäß **Tab. 3-6** angenommen. Da die Fenster wie im Abschnitt 3.6.1 geschildert eine Sondersituation darstellen, wird bei ihnen von einer Sanierungsquote von 80 % ausgegangen. Der Erwartungswert für den unteren Gebäudeabschluss wird mit 80 Jahren angesetzt. In der folgenden Tabelle sind die Eingangsdaten zur energetischen Sanierung für das Szenario zusammengestellt.

Tab. 3-7. Annahmen für die Anteile der energetischen Sanierungen an den anstehenden Sanierungen bzw. Erwartungswerte der Sanierung am unteren Gebäudeabschluss in den definierten Zeitabschnitten zwischen 2009 und 2030 im 40 %-Szenario ohne Novelle in 2015.

Bauteil		2009-2014	2015-2019	2020-2024	2025-2030
Wand	[%]	40	40	40	40
Dach	[%]	40	40	40	40
Dach	[%]	80	80	80	80
Unterer Gebäudeabschluss	[a]	80	80	80	80

Szenario mäßige Steigerung der Sanierungsaktivitäten

Im Szenario mit mäßiger Steigerung der Sanierungsaktivitäten wird von einer schrittweisen Steigerung des Anteils der energetischen Sanierungen von 8-%-Punkten ausgegangen. Deutlich mehr als die Hälfte der anstehenden Sanierungen werden dabei erst ab dem Jahr 2020 energetisch saniert. Für das Jahr 2015 wird von einer Novelle der EnEV mit den in **Tab. 3-6** aufgelisteten Anforderungen ausgegangen. Der Anteil der am unteren Gebäudeabschluss sanierten Gebäude wird erhöht.

Tab. 3-8. Anteile der energetischen Sanierungen an den anstehenden Sanierungen bzw. Erwartungswerte der Sanierung am unteren Gebäudeabschluss in den definierten Zeitabschnitten zwischen 2009 und 2030 im Szenario mit mäßiger Steigerung der Sanierungsaktivitäten.

Bauteil		2009-2014	2015-2019	2020-2024	2025-2030
Wand	[%]	40	48	56	64
Dach	[%]	40	48	56	64
Fenster	[%]	80	80	80	80
Unterer Gebäudeabschluss	[a]	60	60	50	50

Szenario starke Steigerung der Sanierungsaktivitäten

Durch die deutliche Steigerung der Sanierungsaktivitäten innerhalb des Szenarios werden bereits ab dem Jahr 2015 deutlich mehr als 50 % der Sanierungen als energetische Sanierungen ausgeführt. Ende der zwanziger Jahre sollen nahezu alle Sanierungen energetisch durchgeführt werden. Die verbleibenden 10 % berücksichtigen Gebäude, bei denen eine Sanierung aus technischen oder gestalterischen Gründen nicht möglich ist. Darüber hinaus sollen in diesem Puffer die nicht sachgemäß ausgeführten Sanierungen berücksichtigt werden. Im Vergleich zum vorangegangenen Szenario wird hier der Anteil der Sanierungen am unteren Gebäudeabschluss ab dem Jahr 2020 weiter erhöht.

Tab. 3-9. Annahmen für die Anteile der energetischen Sanierungen an den anstehenden Sanierungen bzw. Erwartungswerte der Sanierung am unteren Gebäudeabschluss in den definierten Zeitabschnitten zwischen 2009 und 2030 im Szenario mit deutlicher Steigerung der Sanierungsaktivitäten.

Bauteil		2009-2014	2015-2019	2020-2024	2025-2030
Wand	[%]	45	60	75	90
Dach	[%]	45	60	75	90
Dach	[%]	80	80	85	90
Unterer Gebäudeabschluss	[a]	60	60	35	35

Szenario 2 % Sanierungsquote

Anders als in den drei zuvor dargestellten Szenarien, stellt im Szenario 2 % Sanierungsquote die absolute Zahl der Sanierungen den jährlich zu erfüllenden Richtwert dar. Wie in Abschnitt 3.5.3.2 beschrieben, werden dazu auch über die Anzahl der zur Sanierung anstehenden Gebäude hinaus weitere Sanierungen aus den folgenden Jahren zur Sanierung vorgezogen. Durch das „Vorziehen“ der anstehenden Sanierungen der Folgejahre wird gewährleistet, dass es sich bei den Sanierungen um tatsächlich fällige Sanierungen handelt, wodurch eine Verkürzung der Sanierungsintervalle erzielt wird.

Szenario starke Steigerung und vorgezogene Sanierungsaktivitäten

Wie im Szenario „starke Steigerung der Sanierungsaktivitäten“ wird hier ebenfalls im Zeitraum 2009-2030 der Sanierungsumfang durch die in **Tab. 3-9** aufgelisteten Anteile der energetischen Sanierungen bestimmt. Zusätzlich zu diesen Sanierungen wird über die „motivierten“ Sanierungen eine Erhöhung der Sanierungsquote erzielt. Im Zeitraum 2009-2019 soll dabei jedes 300. Gebäude vorzeitig energetisch saniert werden, ab 2020 wird diese Annahme auf jedes 200. Gebäude erhöht. Dies entspricht bis zum Jahr 2019 einer Erhöhung der Sanierungsquote von im Mittel 0,3 %, ab dem Jahr 2020 wird die Erhöhung der Sanierungsquote im Mittel 0,5 % betragen.

3.6.3.1 Ebersberg

Unter den in Abschnitt 3.6.2 geschilderten Annahmen ergibt sich im Landkreis Ebersberg in den verschiedenen Szenarien nach Abschnitt 3.6.3 die folgend dargestellte Entwicklung des Heizwärmebedarfs der Wohngebäude bis zum Jahr 2030.

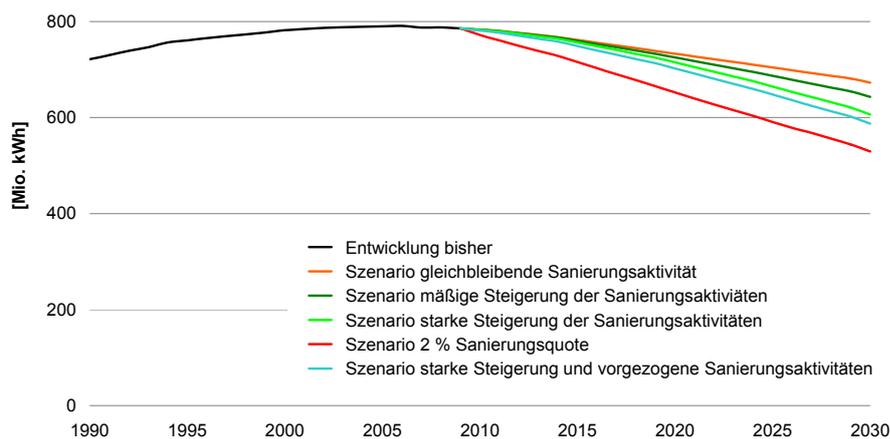


Abb. 3-30. Entwicklung des Heizwärmebedarfs im Landkreis Ebersberg bis zum Jahr 2030 in den verschiedenen Szenarien nach Kapitel 3.6.3.

Die nachfolgende Tabelle enthält die berechneten Einsparungen bzw. mittleren Heizwärmebedarfswerte der verschiedenen Szenarien.

Tab. 3-10. Prozentuale Einsparungen des gesamten Wohngebäudebestands im Jahr 2030 bzw. des Gebäudebestands aus dem Jahr 2008 sowie mittlerer flächenbezogener Heizwärmebedarf der Gebäude im jeweiligen Gebäudebestand.

Szenario	$\Delta Q_{h, \text{ alle BJ}}$ [%]	$q_{h, \text{ mitt. alle BJ}}$ [kWh/(m ² · a)]	$\Delta Q_{h, \text{ BJ bis 2008}}$ [%]	$q_{h, \text{ mitt. BJ bis 2008}}$ [kWh/(m ² · a)]
gleich bleibende Sanierungsaktivität	-14,6	107	-19,7	122
mäßige Steigerung der Sanierungsaktivität	-18,4	102	-25,0	114
starke Steigerung der Sanierungsaktivität	-23,1	96	-29,6	107
2 % Sanierungsquote	-32,6	84	-39,3	92
starke Steigerung und vorgezogene Sanierungsaktivität	-25,3	93	-31,5	104

Die prozentualen Einsparungen im Heizwärmebedarf der Wohngebäude im Landkreis Ebersberg bis zum Jahr 2030 zeigen, dass der Neubau seit dem Jahr 2009 die Einsparungen durch die energetischen Sanierungen im Gebäudebestand um 20-30 %-Punkte reduziert. Da wie im Abschnitt 3.6.2.1 beschrieben im Landkreis Ebersberg bis zum Jahr 2025 von steigenden Bevölkerungszahlen ausgegangen wird, ist für die Verringerung der Einsparungen in erster Linie der durch die Zunahme der durchschnittlichen Wohnfläche je Einwohner verursachte Neubau verantwortlich. Betrachtet man den durchschnittlichen flächenbezogenen Heizwärmebedarf des Gebäudebestandes aus dem Jahr 2008, so zeigen sich insbesondere im Szenario gleich bleibende Sanierungsaktivitäten nur sehr geringe Einsparungen. Verglichen mit der bestehenden Möglichkeit, durch Sanierungen von Altbauten mehr als 70 % des Energiebedarfs einsparen zu können, stellen die ersten beiden Szenarien im Sinne der Energieeffizienz keine akzeptable Entwicklung dar. Betrachtet man im Szenario verstärkte Sanierungsaktivitäten den Rückgang des Heizwärmebedarfs ab dem Jahr 2020 so beschreibt dieses Szenario eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz. Im Folgenden wird daher verstärkt auf die Charakteristika dieses Szenarios und seine Schwachstellen eingegangen. Die Aufteilung des Heizwärmebedarfs auf die unterschiedlichen Baualtersklassen der EFH im Landkreis Ebersberg bis zum Jahr 2030 nach der Berechnung im Szenario verstärkte Sanierungsaktivität enthält **Abb. 3-31**. Der Anteil der Baualtersklassen 1968 und 1978 am Heizwärmebedarf aller EFH im Jahr 2030 sinkt in diesem Szenario trotz der neu hinzu kommenden Baualtersklassen nur um ca. zwei Prozent, obwohl der Anteil des Neubaus fast 10 % des Heizwärmebedarfs beansprucht. Damit wird erkennbar, dass der Anteil dieser beiden Baualtersklassen bezogen auf den Gebäudebestand aus dem Jahr 2008 weiter angestiegen ist.

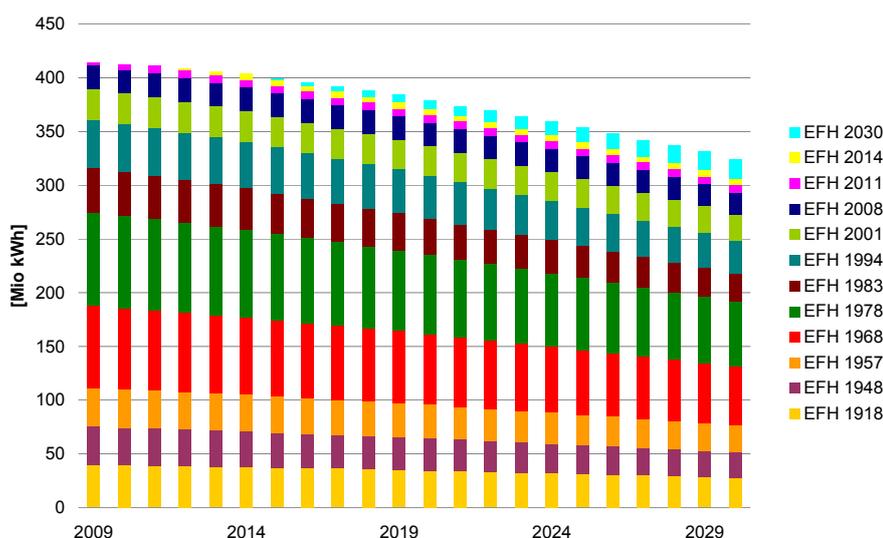


Abb. 3-31. Anteile der einzelnen Gebäudetypen im Heizwärmebedarf der Einfamilienhäuser im Szenario verstärkte Sanierungsaktivitäten im Landkreis Ebersberg im Zeitraum 2009-2030.

Während im Basisszenario mit gleich bleibender Sanierungsaktivität das Gefälle im Verlauf des Heizwärmebedarfs in **Abb. 3-30** bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes gleich bleibt, nimmt es in den weiteren Szenarien nach Lebenszyklusbetrachtung deutlich zu. Ab dem Jahr 2020 verlaufen die Kurven des Szenarios mit 2 % Sanierungsquote und die Kurven der Szenarien mit verstärkter Sanierungsaktivität nahezu parallel. Damit wird erkennbar, dass die Sanierungsanteile der Szenarien mit verstärkter Sanierungsaktivität eine ähnliche Reduktion des Heizwärmebedarfs ergeben wie die Anzahl der Sanierungen, die aus der Vorgabe 2 % Sanierungsquote bestehen. Der Vergleich der Wandsanierungsquoten der beiden Szenarien in **Abb. 3-32** zeigt, dass sich im Zeitraum 2025-2030 die Sanierungsquote der Gebäude der Baujahre bis 1994 nur geringfügig unter der Quote der gleichen Gebäudegruppe im Szenario mit 2 % Sanierungsquote befindet. Eine Steigerung des Sanierungsanteils der energetischen Sanierungen auf 100 % im Szenario verstärkte Sanierungsaktivitäten erzeugt damit den gleichen Umfang der Sanierungsaktivitäten wie das Szenario 2 % Sanierungsquote.

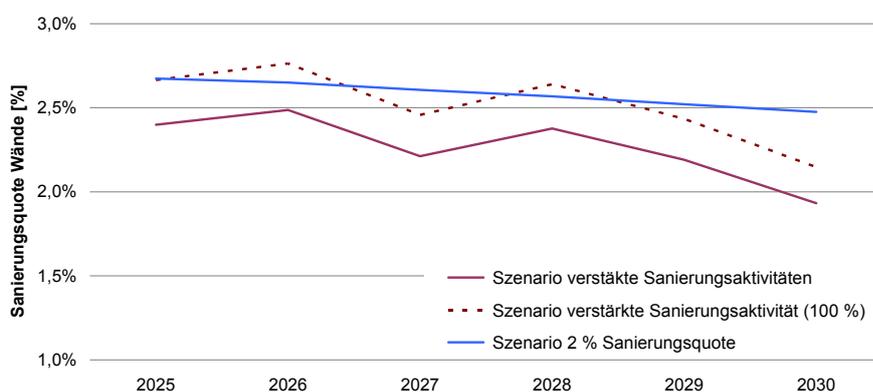


Abb. 3-32. Vergleich der Sanierungsquote der Wände der Baujahre bis 1994 in den Szenarien verstärkte Sanierungsaktivität und 2 % Sanierungsquote im Landkreis Ebersberg im Zeitraum 2025-2030.

Das Gefälle der beiden Kurven in **Abb. 3-32** ist mit dem Rückgang des Sanierungsanteils der betrachteten Gebäudegruppe an der Gesamtzahl der Sanierungen zu erklären, der sich entsprechend der Ausfallraten der einzelnen Gebäudegruppen zum jeweiligen Zeitpunkt ändert. Einen Überblick über die Anteile der einzelnen Gebäudegruppen an den energetischen Sanierungen der einzelnen Jahre vermittelt **Abb. 3-33**. Insbesondere für die Baualtersklasse 1968 der Baujahre 1958-1968 wird erkennbar, dass deren Anteil an der Gesamtzahl der Sanierungen im Betrachtungszeitraum deutlich zurückgeht und dafür der Anteil der Gebäude der Baualtersklasse 1994 zunimmt. In Verbindung mit dem Verlauf der Quote der anstehenden Sanierungen wird damit erkennbar, dass sich diese Gebäude unter den geschilderten Annahmen bereits im Bereich fallender Ausfallraten befinden.

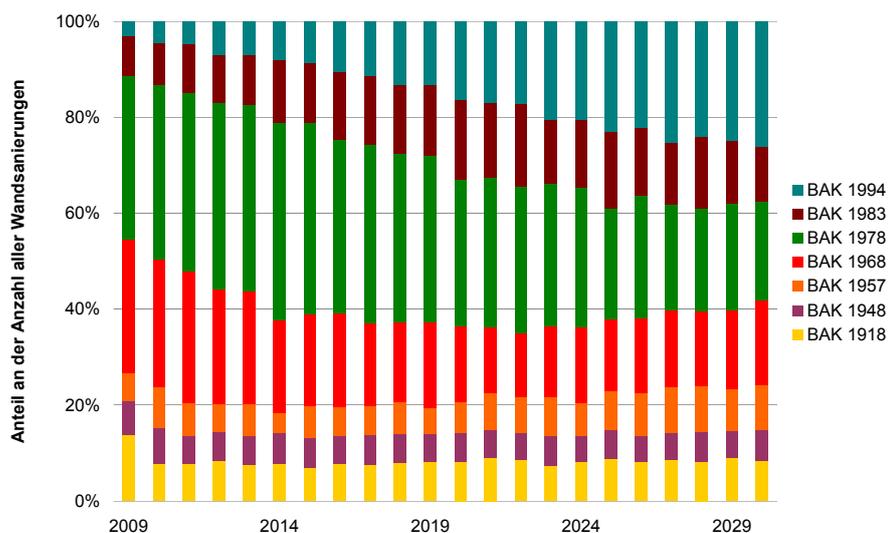


Abb. 3-33. Prozentualer Anteil der Baualtersklassen an der Gesamtzahl der energetischen Wandsanierungen im Landkreis Ebersberg im Zeitraum 2009 bis 2030 im Szenario 2 % Sanierungsquote.

Diese vergleichsweise allgemeingültige Aussage wird durch den Vergleich der absoluten Anzahl der anstehenden Wandsanierungen bezogen auf 100 m² Wohnfläche aus den unterschiedlichen Baualtersklassen in **Abb. 3-34** verstärkt. Bezogen auf den regionalen Gebäudebestand des Landkreises Ebersberg zeigt sich darin die Bedeutung der aktuell anstehenden Sanierungsfälle in den Baualtersklassen 1968 und 1978, die neben der hohen absoluten Anzahl der Sanierungen zudem ein enormes Einsparpotential bieten.

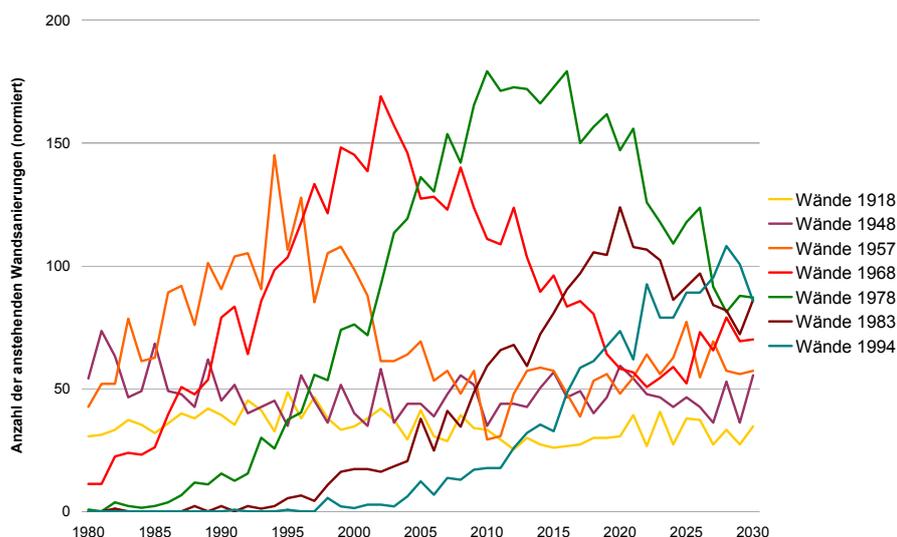


Abb. 3-34. Anzahl der jährlich anstehenden Wandsanierungen an Gebäuden unterschiedlicher Baualtersklassen mit je 100 m² beheizter Wohnfläche im Landkreis Ebersberg im Zeitraum 1980-2030.

Zusammen mit dem Verlauf der Kurve des Heizwärmebedarfs im Szenario 2 % Sanierungsquote verdeutlicht der Umfang der anstehenden Sanierungen in den Jahren ab 2010 in **Abb. 3-34**, dass sich durch die Sanierung der im Bereich hoher Ausfallraten befindlichen Gebäude der Baualtersklassen 1968 und 1978 sehr hohe Einsparungsmöglichkeiten ergeben. Damit ist der Unterschied im Verlauf des Heizwärmebedarfs zwischen den Szenarien verstärkte Sanierungsaktivität und 2 % Sanierungsquote in den Jahren 2010-2020 durch den geringen Anteil der energetischen Sanierungen in den Baualtersklassen 1968 und 1978 begründet. Obwohl im Szenario verstärkte und vorgezogene Sanierungsaktivitäten versucht wird, durch zusätzliche vorgezogene Sanierungen die Einsparungen zu erhöhen, kann aufgrund der geringeren Einsparungsmöglichkeiten der Gebäude späterer Baujahre nur eine vergleichsweise geringe zusätzliche Einsparung erreicht werden.

3.6.3.2 Erlangen-Höchstadt

In **Abb. 3-35** ist die Entwicklung des Heizwärmebedarfs im Landkreis Erlangen-Höchstadt bis zum Jahr 2030 unter den in Kapitel 3.6.3 geschilderten Annahmen dargestellt.

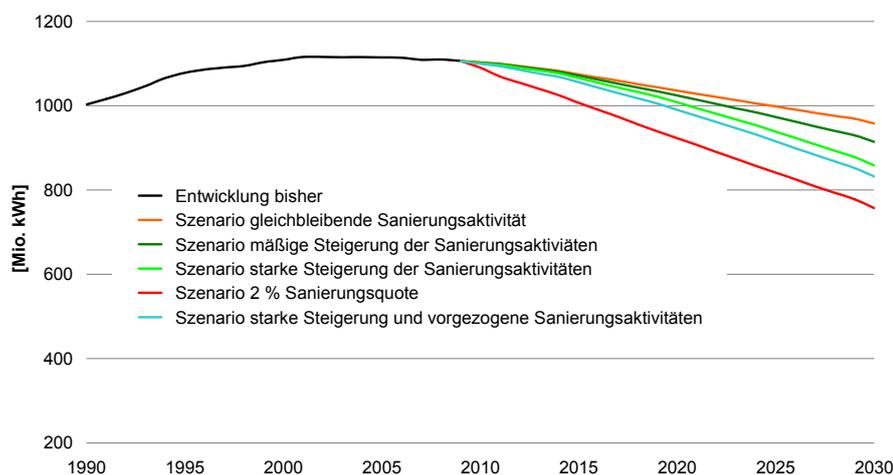


Abb. 3-35. Entwicklung des Heizwärmebedarfs im Landkreis Erlangen-Höchstadt in verschiedenen Szenarien bis zum Jahr 2030.

Die berechneten Einsparungen bzw. mittleren Heizwärmebedarfswerte der verschiedenen Szenarien im Jahr 2030 enthält die nachfolgende Tabelle.

Tab. 3-11. Prozentuale Einsparungen des gesamten Wohngebäudebestandes im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Jahr 2030 bzw. des Gebäudebestandes aus dem Jahr 2008 sowie mittlerer flächenbezogener Heizwärmebedarf der Gebäude im jeweiligen Gebäudebestand.

Szenario	$\Delta Q_{h, \text{ alle BJ}}$ [%]	$q_{h, \text{ mitt. alle BJ}}$ [kWh/(m ² · a)]	$\Delta Q_{h, \text{ BJ bis 2008}}$ [%]	$q_{h, \text{ mitt. BJ bis 2008}}$ [kWh/(m ² · a)]
gleichbleibende Sanierungsaktivität	-13,7	127	-20,2	141
mäßige Steigerung der Sanierungsaktivität	-17,6	122	-25,3	132
starke Steigerung der Sanierungsaktivität	-22,6	114	-30,3	123
2 % Sanierungsquote	-31,5	101	-39,4	107
starke Steigerung und vorgezogene Sanierungsaktivität	-24,8	111	-32,7	119

Bezogen auf den Heizwärmebedarf im Jahr 2008 ergibt sich in den verschiedenen Szenarien eine Reduktion des Heizwärmebedarfs aller Gebäude bis zum Jahr 2030 von 13,7 % bis 31,5 %. Die Einsparungen des Gebäudebestandes aus dem Jahr 2008 hingegen betragen in den verschiedenen Szenarien bis zum Jahr 2030 zwischen 22,5 % und 39,4 %. Damit wird erkennbar, dass auch im Landkreis Erlangen-Höchstadt der Neubau im Zeitraum 2009-2030 die Effizienzsteigerungen des Gebäudebestands drastisch reduziert, obwohl die Bevölkerungszahl dieses Landkreises bereits seit Ende der 90er Jahre konstant ist und in Zukunft zu sinken beginnt. Die Reduktion der Einsparungen ist damit allein auf die Veränderung der Wohnfläche je Einwohner zurückzuführen.

Die Entwicklung der einzelnen Anteile der Baualtersklassen am Heizwärmebedarf der Einfamilienhäuser im Zeitraum 2009-2030 ist in der nachfolgenden **Abb. 3-36** für das Szenario verstärkte Sanierungsaktivitäten dargestellt. Der Anteil der Baualtersklassen 1968 und 1978 am Heizwärmebedarf der bis 2008 errichteten Gebäude steigt in diesem Szenario zwischen 2008 und 2030 leicht an, obwohl sich insbesondere diese Baualtersklassen im Bereich hoher Ausfallraten befinden und ihr Anteil an der Sanierungsquote der anstehenden Sanierungen entsprechend hoch ist. In diesem Szenario verringert sich nur der Anteil der bis 1948 erbauten Gebäude.

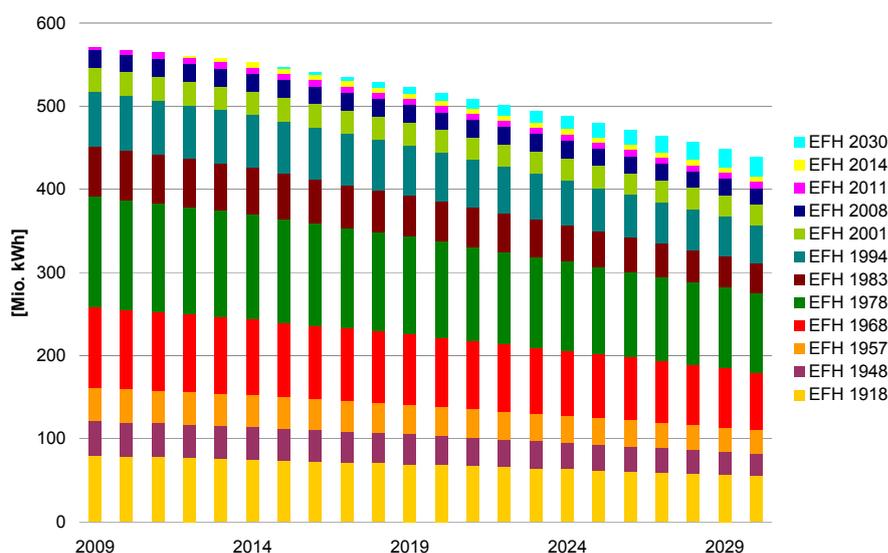


Abb. 3-36. Anteile der einzelnen Baualtersklassen am Heizwärmebedarf der Einfamilienhäuser im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Zeitraum 2009-2030, Szenario verstärkte Sanierungsaktivitäten.

Im Szenario 2 % Sanierungsquote vermindern sich die Anteile aller bis ca. 1990 erbauten Gebäude am Heizwärmebedarf des Gebäudebestands aus dem Jahr 2008, während sich der Anteil der neueren Gebäude erhöht. Die Reduktion des Bedarfs der Baualtersklasse 1978 ist in der nachfolgenden **Abb. 3-37** besonders gut zu erkennen.

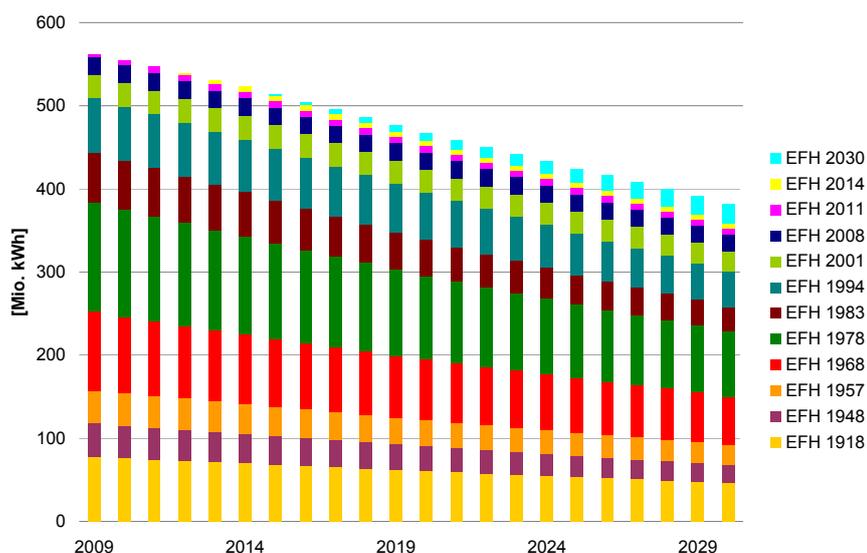


Abb. 3-37. Anteile der einzelnen Baualtersklassen am Heizwärmebedarf der Einfamilienhäuser im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Zeitraum 2009-2030, Szenario 2 % Sanierungsquote.

Wie auch im Landkreis Ebersberg ist das Gefälle im Verlauf des Heizwärmebedarfs im Szenario verstärkte Sanierungsaktivitäten und im Szenario 2 % Sanierungsquote in den Jahren 2025-2030 in **Abb. 3-35** sehr ähnlich. Der Vergleich der Sanierungsquoten der Wände der Baujahre bis 1994 in den beiden Szenarien ist für den Zeitraum 2025-2030 in **Abb. 3-38** dargestellt. Die gestrichelte Kurve stellt die Sanierungsquote für den Fall der energetischen Sanierung aller anstehenden Wandsanierungen im Szenario verstärkte Sanierungsaktivität dar, während die durchgezogene Linie der gleichen Färbung die Sanierungsquote der Wände aus dem Szenario verstärkte Sanierungsaktivitäten wiedergibt.

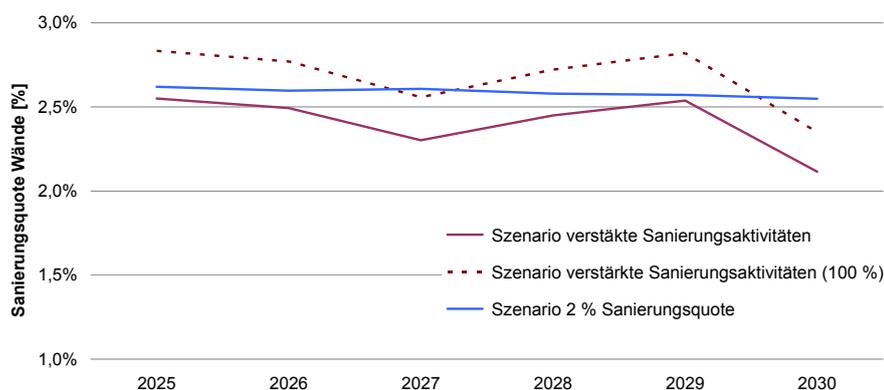


Abb. 3-38. Vergleich der Sanierungsquote der Wände der Baujahre bis 1994 in den Szenarien verstärkte Sanierungsaktivität und 2 % Sanierungsquote im Landkreis Erlangen-Höchstadt im Zeitraum 2025-2030.

Im Landkreis Erlangen-Höchstadt übersteigt die Sanierungsquote im Fall 100 %-tiger Ausschöpfung der anstehenden Sanierungsfälle die Anzahl der Sanierungen aus dem 2 % Szenario. Dies bedeutet, dass im Landkreis Erlangen-Höchstadt der Anteil der Gebäude der Baujahre bis 1994 höher ist als im Landkreis Ebersberg. Die nachfolgende **Abb. 3-39** verdeutlicht die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Baualtersklassen an der Gesamtzahl der Sanierungen der Baujahre bis 1994. Typisch für die Neubaутätigkeit in den 70er und 90er Jahren sind diese beiden Gruppen besonders stark vertreten.

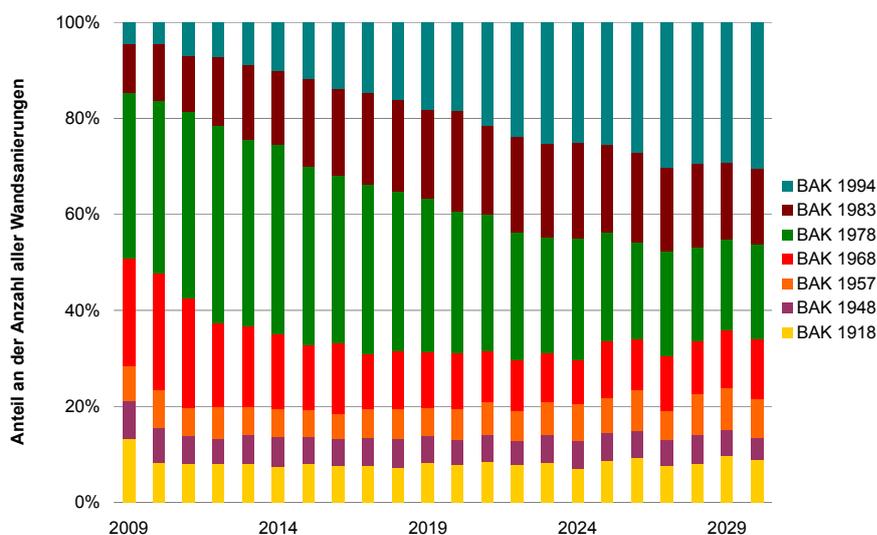


Abb. 3-39. Prozentualer Anteil der Baualtersklassen an der Gesamtzahl der energetischen Wandsanierungen im Szenario 2 % Sanierungsquote, Landkreis Erlangen-Höchstadt, Zeitraum 2009-2030.

Während **Abb. 3-39** nur den prozentualen Anteil der Sanierungsfälle beschreibt, wird in **Abb. 3-40** die Anzahl der anstehenden Wandsanierungen je 100 m² beheizter Wohnfläche dargestellt. Verglichen mit dem Landkreis Ebersberg übersteigt die Anzahl der anstehenden Sanierungsfälle der Baualtersklasse 1978 die Baualtersklasse 1968 noch einmal deutlich und bietet besonders in den nächsten Jahren die Möglichkeit einer umfangreichen Reduktion des Heizwärmebedarfs.

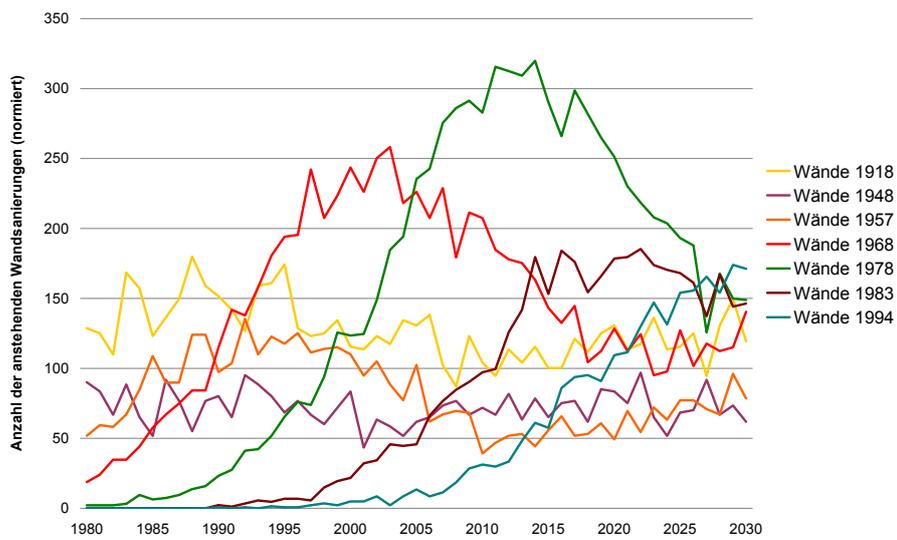


Abb. 3-40. Anzahl der jährlich anstehenden Wandsanierungen an Gebäuden unterschiedlicher Baualtersklassen mit je 100 m² beheizter Wohnfläche, Landkreis Erlangen-Höchststadt, Zeitraum 1980-2030.

3.6.3.3 Straubing-Bogen

Die Entwicklung des Heizwärmebedarfs im Landkreis Straubing-Bogen unter den in Kapitel 3.6.2 geschilderten Annahmen und den in Kapitel 3.6.3 geschilderten Szenarien enthält die nachfolgende Abbildung **Abb. 3-41**.

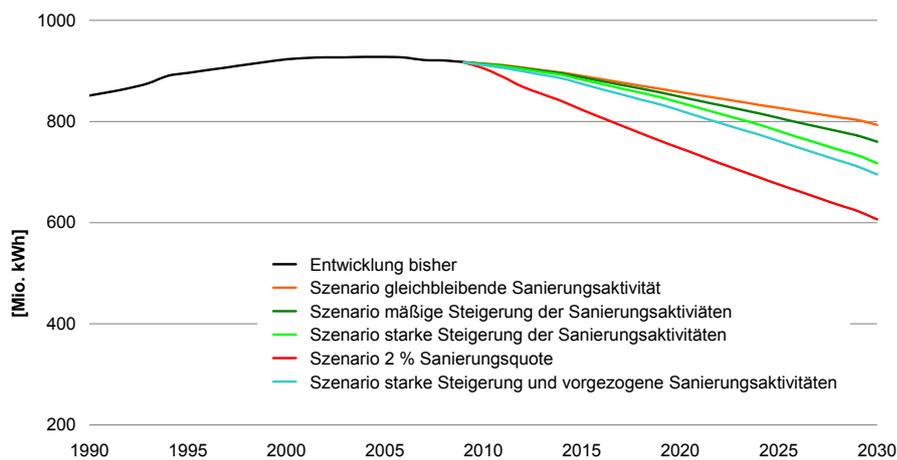


Abb. 3-41. Mögliche Entwicklungen des Heizwärmebedarfs im Landkreis Straubing-Bogen in den unterschiedlichen Szenarien bis zum Jahr 2030.

Die berechneten Einsparungen im Heizwärmebedarf sowie die mittleren Heizwärmebedarfswerte im Jahr 2030 im Landkreis Straubing-Bogen enthält **Tab. 3-12**.

Tab. 3-12. Prozentuale Einsparungen des gesamten Wohngebäudebestandes im Jahr 2030 bzw. des Gebäudebestandes aus dem Jahr 2008 sowie mittlerer flächenbezogener Heizwärmebedarf der Gebäude im jeweiligen Gebäudebestand.

Szenario	$\Delta Q_{h, \text{ alle BJ}}$ [%]	$q_{h, \text{ mitt. alle BJ}}$ [kWh/(m ² · a)]	$\Delta Q_{h, \text{ BJ bis 2008}}$ [%]	$q_{h, \text{ mitt. BJ bis 2008}}$ [kWh/(m ² · a)]
gleich bleibende Sanierungsaktivität	-13,8	115	-20,2	133
mäßige Steigerung der Sanierungsaktivität	-17,4	110	-25,0	125
starke Steigerung der Sanierungsaktivität	-22,1	104	-29,5	117
2 % Sanierungsquote	-33,9	88	-41,6	97
starke Steigerung und vorgezogene Sanierungsaktivität	-24,3	101	-31,9	113

Mit seinem sehr hohen Anteil an Einfamilienhäusern und einer sehr hohen durchschnittlichen Wohnfläche je Einwohner sind im Landkreis Straubing-Bogen die höchsten prozentualen Einsparungen in Heizwärmebedarf der Wohngebäude möglich. Ausgehend von einem durchschnittlichen flächenbezogenen Heizwärmebedarf im Jahr 2008 von $200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ lässt sich dieser Mittelwert im Szenario 2 % Sanierungsquote bis zum Jahr 2030 auf $88 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ reduzieren. Anders als im Landkreis Erlangen-Höchstädt, in dem die Anzahl an anstehenden Sanierungsfällen der Baujahre bis 1994 im Zeitraum 2025-2030 die Anzahl der erforderlichen Sanierungen zur Erfüllung der Sanierungsquote deutlich übersteigt, sinkt im Landkreis Straubing-Bogen gegen Ende der 20er Jahre die Sanierungsquote der anstehenden Sanierungsfälle leicht unter die erforderliche Quote ab. Dies verdeutlicht die nachfolgende Abbildung **Abb. 3-42**, die einen wachsenden Abstand zwischen dem Verlauf der Sanierungsquote im Szenario 2 % Sanierungsquote und dem Szenario verstärkte Sanierungsaktivitäten aufweist.

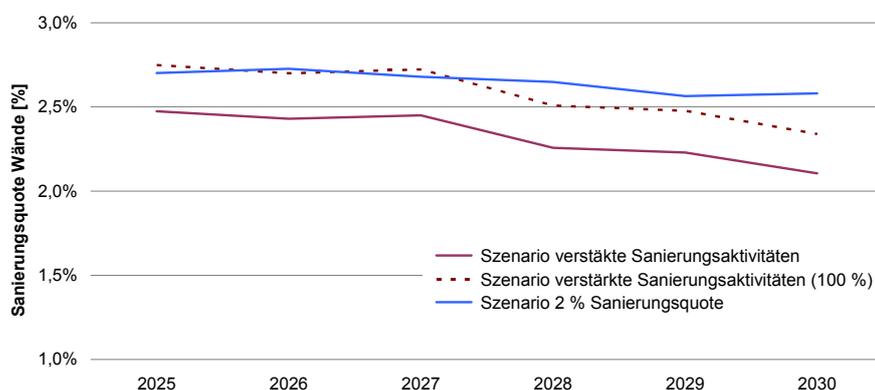


Abb. 3-42. Vergleich der Sanierungsquote der Wände der Baujahre bis 1994 in den Szenarien verstärkte Sanierungsaktivität und 2 % Sanierungsquote, Landkreis Straubing-Bogen, Zeitraum 2025-2030.

Das Absinken der Sanierungsquote der anstehenden Sanierungen unter den Sollwert im Szenario 2 % Sanierungsquote lässt Rückschlüsse auf die Verteilung der Baualterklassen im Landkreis Straubing-Bogen zu. Abweichend von den Landkreisen Ebersberg und Erlangen-Höchstädt sind die Unterschiede zwischen den Wohnflächenanteilen und den Heizwärmebedarfsanteilen der einzelnen Baualterklassen hier geringer ausgeprägt. Diese geringeren Unterschiede spiegeln sich auch in den prozentualen Anteilen der Wandsanierungen der Baualterklassen bis 1994 an der Gesamtzahl der Sanierungen dieser Gebäudegruppe in **Abb. 3-43** wieder.

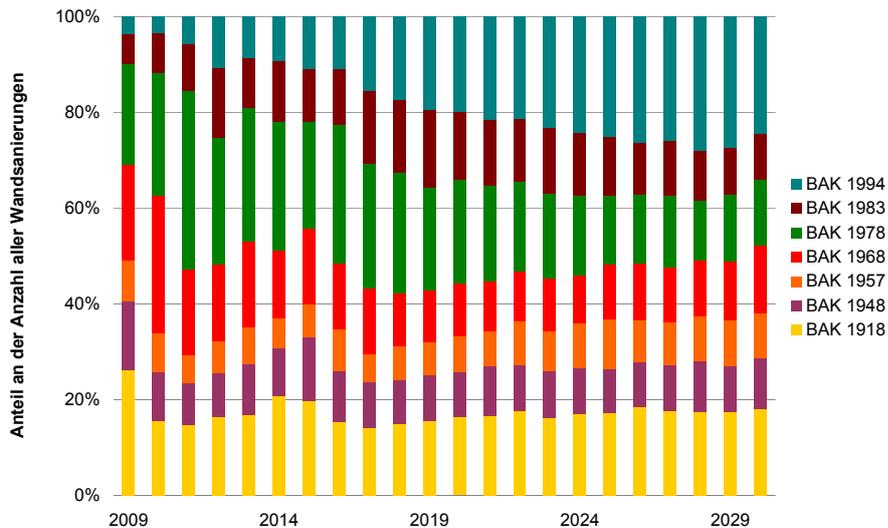


Abb. 3-43. Prozentualer Anteil der Baualtersklassen bis 1994 an den energetischen Wandsanierungen der Gebäudebaujahre bis 1994 im Szenario 2 % Sanierungsquote, Landkreis Straubing-Bogen, Zeitraum 2009-2030.

In **Abb. 3-44** wurde die Anzahl der anstehenden Wandsanierungen entsprechend der beheizten Wohnfläche der einzelnen Sanierungen gewichtet aufgetragen. Die Baualtersklassen 1918 und 1978, in denen die durchschnittliche Wohnfläche in der überwiegenden Zahl der Wohneinheiten höher ist als in den anderen Baualtersklassen, werden darin entsprechend den vorhandenen Einsparpotentialen höher bewertet.

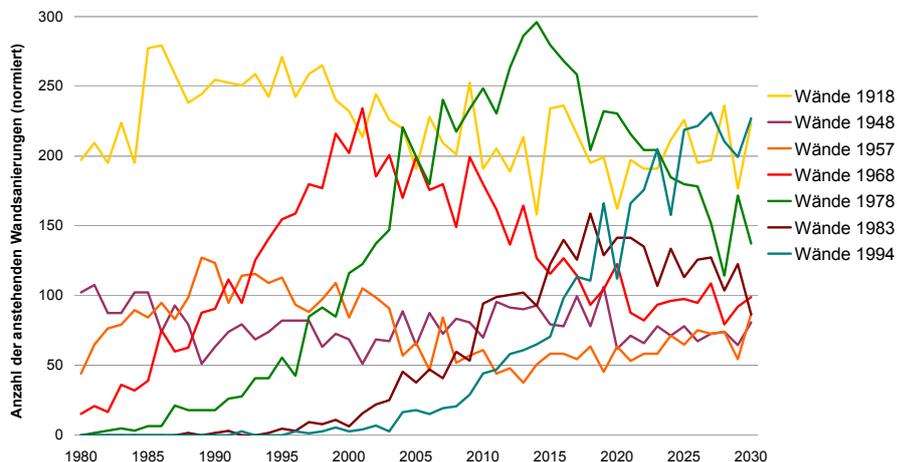


Abb. 3-44. Anzahl der jährlich anstehenden Wandsanierungen an Gebäuden unterschiedlicher Baualtersklassen mit je 100 m² beheizter Wohnfläche, Landkreis Straubing-Bogen, Zeitraum 1980-2030.

Besonders hohe Einsparungen im Heizwärmebedarf sind damit erneut in den Baualtersklassen 1968 und 1978 zu erzielen. Die Baualtersklasse 1918 weist rein rechnerisch ebenso ein sehr hohes Sanierungspotential auf, das jedoch durch die Unsicherheiten in

den zu Grunde liegenden statistischen Daten zur durchschnittlichen Wohnfläche der Gebäude sehr vorsichtig interpretiert werden muss.

4 Der Energiebedarf im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD)

Als Sammelbecken für die unterschiedlichsten Energiebedarfsstrukturen fasst der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung nahezu alle Bestandteile des Energiebedarfs zusammen, für die eine Zuweisung zu den übrigen energiewirtschaftlichen Sektoren nicht möglich ist. Die damit verbundene heterogene Struktur des Sektors birgt für die Erfassung des Energiebedarfs der einzelnen Bestandteile des Sektors einen erheblichen Untersuchungsaufwand. Weitere Schwierigkeiten bei der Erfassung des Energiebedarfs bringt die kontinuierliche Veränderung des Sektors durch die erforderliche Flexibilität kleinerer Unternehmen mit sich, die sich ständig dem Marktgeschehen sowie der Einführung neuer Technologien anpassen müssen. Die geringe Anzahl von Querschnittstechnologien in diesem Sektor gibt einen Hinweis auf die Vielzahl an unterschiedlichen Formen des Energieeinsatzes. Da für den Energieverbrauch keine bzw. nur abgeleitete statistische Angaben zur Verfügung stehen, wird bei der jährlichen Bilanzierung durch die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen der Endenergieverbrauch des Sektors als Teilbereich der Energieträgerlieferungen an die Verbrauchergruppen private Haushalte und GHD betrachtet. Die Lieferungen werden dabei dem Endenergieverbrauch gleichgesetzt und die Unterteilung zwischen den beiden Verbrauchsgruppen im Wesentlichen durch Schätzungen und Hochrechnungen vorgenommen, die auf Marktforschungsergebnissen basieren.

Seit Mitte der 90er Jahre ist die Erfassung der Energiebedarfsstrukturen des Sektors Bestandteil mehrerer Untersuchungen geworden. Vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung und dem Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München wurde die erste Untersuchung des Sektors Mitte der 90er Jahre in einer breit angelegte Erhebung zur Erfassung des Energieverbrauchs des Sektors durchgeführt [34]. In der nachfolgend zusammen mit dem deutschen Institut für Wirtschaftsforschung durchgeführten Studie [35] wurden Möglichkeiten für eine weitere Verbesserung der Datenerfassung aufgezeigt. Weitere Studien in den Jahren 2004 [36] und 2008 [2] führten zu einer stetigen Verbesserung der Datenbasis, die für die vorliegende Arbeit verwendet werden konnte. Die Hochrechnung des Energiebedarfs im Sektor GHD in den drei betrachteten Landkreisen wird daher grundsätzlich nach der gleichen Methodik wie in den genannten Studien vorgenommen. Da die verfügbaren Daten über das in einem Landkreis ansässige Gewerbe sich von der Datenbasis der oben genannten Studien deutlich unterscheiden, liegt der Schwerpunkt der Bearbeitung im Sektor GHD auf der Entwicklung von Methoden zur Erfassung und Aufbereitung der relevanten Daten für die Hochrechnung des Energieverbrauchs.

4.1 Definition und Abgrenzung des Sektors GHD

Die hier verwendete Definition und Abgrenzung des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) folgt den Strukturierungen des Endenergieverbrauchs in Deutschland, die von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen zur jährlichen Auswertung der energiestatistischen Daten vorgenommen wird [37]. Die Grundlage für die Einteilung des Energieverbrauchs bilden dabei sowohl die unterschiedlichen Anwendungsarten für Energie, als auch die Verfügbarkeit statistischer Daten, die eine Hochrechnung des Verbrauchs für die einzelnen Gruppen ermöglicht. Statistiken zu Wirtschaftstätigkeiten in Deutschland sind gemäß den Vorgaben des Europäischen Parlaments nach der statistischen Systematik der europäischen Gemeinschaft zu erstellen. Die Gliederung der deutschen Klassifikation der Wirtschaftszweige wurde unter Beachtung dieser Vorgaben zur Systematik erarbeitet und unterscheidet im formalen Aufbau ebenso wie die vorangegangene Verordnung fünf Gliederungsebenen. Die folgende Tabelle **Tab. 4-1** enthält die Übersicht über die verschiedenen Gliederungsebenen sowie über die Anzahl der Unterscheidungen je Gliederungsebene.

Tab. 4-1. Gliederung der aktuellen Klassifikation der Wirtschaftszweige in Deutschland [38].

Gliederungsebene	Anzahl	Kode
Abschnitte	21	A-U
Abteilungen	88	01 - 99
Gruppen	272	01.1 – 99.0
Klassen	615	01.11 – 99.00
Unterklassen	839	01.11.0 – 99.00.0

Für die Gliederungsebene Gruppen, Klassen und Unterklassen wird häufig zur Vereinfachung die Bezeichnung der Ebene mit der Länge des Codes der jeweiligen Ebene vorgenommen. Die Gliederungsebene Gruppen wird dabei als 3-Steller, die Ebene der Klassen als 4-Steller und die Ebene der Unterklassen als die Ebene der 5-Steller bezeichnet. Diese Bezeichnung wird nachfolgend ebenso verwendet, da somit eine Verwechslung mit den weiteren Gliederungen ausgeschlossen werden kann.

Dem Sektor Industrie werden nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige [38] der Bergbau, die Gewinnung von Steinen und Erden sowie das verarbeitende Gewerbe in Betrieben mit 20 und mehr Mitarbeitern zugeordnet. Alle Betriebe des verarbeitenden Gewerbes mit weniger als 20 Mitarbeitern werden dem Sektor GHD zugewiesen. **Tab. 4-2** enthält die Auflistung der Nummern der Wirtschaftszweige, die dem Sektor Industrie in den Bereichen Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden (Zeile 1) und dem verarbeitenden Gewerbe (alle übrigen Zeilen) zugeordnet werden.

Tab. 4-2. Zuordnung von Tätigkeitsgruppen der Klassifikation der Wirtschaftszweige zu Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden und dem verarbeitenden Gewerbe nach [37].

Wirtschaftszweig	Nr. der Klassifikation nach WZ 93 bzw. WZ 2003
Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger. Bergbau	10.30, 12, 13, 14
Ernährung und Tabak	15, 16
Papiergewerbe	21
Grundstoffchemie	24.1
Sonstige chemische Industrie	24 ohne 24.1
Gummi- und Kunststoffwaren	25
Glas u. Keramik	26.1, 26.2, 26.3
Verarbeitung von Steinen und Erden	26 ohne 26.1, 26.2, 26.3
NE-Metalle, Gießereien (Eisen-, Leicht – und Buntmetallgießereien)	27.4, 27.5
Metallbearbeitung	27 ohne 27.1, 27.4 und 27.5 einschl. 28
Maschinenbau	29K
Fahrzeugbau	34, 35
Sonstige Wirtschaftszweige	alle übrigen Nummern außer 10.10, 10.20, 11.10, 11.20, 23.1, 23.2, 23.3

Anhand der Tabelle wird deutlich, wie groß die Anzahl an Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes ist (Zeilen 2 bis 12), in denen eine Überschneidung zwischen den Sektoren Industrie und GHD besteht, während zumindest für den Bergbau und die Gewinnung von Steinen und Erden (Zeile 1) die Zuordnung eindeutig ist. Ein wesentliches Hindernis bei der eindeutigen Zuordnung eines Betriebes zu den Sektoren Industrie oder GHD besteht damit in der Unkenntnis der Mitarbeiterzahlen.

Im Sektor Verkehr beinhaltet der Energieverbrauch nur den Energieverbrauch für die unmittelbare Erstellung von Transportleistungen in Schienenverkehr, Straßenverkehr, Luftverkehr und Küsten- und Binnenschifffahrt. Der mittelbare Verbrauch z.B. für die Beleuchtung der Verkehrsanlagen und den Kraftstoffverbrauch der Landwirtschaft wird jedoch ausgeschlossen und dem Sektor GHD zugewiesen.

Damit besteht der sehr heterogene Sektor GHD nach [37] im Wesentlichen aus den folgenden Gruppen:

- Gewerbebetriebe mit weniger als zwanzig Mitarbeitern, sofern sie nicht im produzierenden Gewerbe erfasst werden,
- Geschäftsgebäude und Räume gewerblicher Art,
- Landwirtschaft,
- Handelsunternehmen,

- Private und öffentliche Dienstleistungsunternehmen und Einrichtungen (z.B. Banken, Versicherungen, Wäschereien, Krankenhäuser, Behörden, Deutsche Post AG).

4.2 Bezugsgrößen für die Hochrechnung des Energiebedarfs

In der vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, dem Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik an der Technischen Universität München und der Gesellschaft für Konsumforschung im Jahr 2008 [36] durchgeführten Studie zum Energieverbrauch des Sektors GHD erfolgte die Hochrechnung der Verbrauchswerte auf der Grundlage von detaillierten Befragungen ausgewählter Arbeitsstätten. Dazu wurde der Sektor GHD in 12 Gruppen gegliedert, in denen über eine Breiterhebung mittels Fragebögen und persönlichen Interviews die Erfassung der Grobstruktur des Energieverbrauchs erfolgte. Nach nochmaliger Unterteilung der Gruppen in Splits und Subplits wurde in Tiefeninterviews der gruppenspezifische Energieverbrauch durch zusätzliche Fragebögen weiter detailliert. Die Hochrechnung des Energiebedarfs erfolgte in dieser Studie ebenso wie in der vorausgegangenen Studie im Wesentlichen über die Anzahl der Erwerbstätigen eines Wirtschaftszweiges, die für ganz Deutschland vom statistischen Bundesamt in ausreichender Detaillierung für die Untergliederung des Sektors bezogen werden kann. Nur die Bereiche Krankenhäuser, Schulen, Schwimmbäder und Flughäfen werden mit den Bezugseinheiten Planbetten, Schüler, Wasserfläche sowie Verkehrseinheiten hochgerechnet, für deren Bestimmung auf weitere statistische Erhebungen zurückgegriffen wird.

In der vom Schweizer Bundesamt für Energie veröffentlichten Studie zum Energieverbrauch des Sektors GHD [39] wird die Energienachfrage über die Multiplikation einer Energiekennzahl mit der Energiebezugsfläche eines Gewerbes berechnet. Die Mengenkomponekte Energiebezugsfläche wird dabei auf der Grundlage im Vorfeld ermittelter Entwicklungen von verschiedenen Gebäudetypen unter Berücksichtigung der sektoralen Wirtschaftsentwicklung angenommen. Dieser Studie geht eine umfangreiche Erhebung der Gewerbeflächen der Stadt Zürich in den 90er Jahren voraus, die seitdem regelmäßig durch weiterführende Untersuchungen aktualisiert und auf den gesamten Bestand der Schweiz hochgerechnet wurde. Da in Deutschland außer im Neubau keine Erfassung der Nichtwohngebäude erfolgt und auch im Rahmen der anstehenden Volkszählung eine solche Erhebung nicht vorgesehen ist, fehlt für die Bewertung des Energiebedarfs im Sektor GHD auf der Grundlage der Energiebezugsfläche weiterhin die statistische Berechnungsgrundlage.

Da in der vorliegenden Arbeit die Ergebnisse der vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, dem Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik und der Gesellschaft für Konsumforschung im Jahr 2008 [2] durchgeführten Studie

verwendet werden konnten, werden für die Hochrechnung des Energiebedarfs in den drei Landkreisen ebenso wie in der genannten Studie die Erwerbstätigen als Bezugsgrößen verwendet.

4.3 Datenquellen zum Gewerbe in Landkreisen

Die Verfügbarkeit von Daten zum Gewerbe in den drei betrachteten Landkreisen ist sehr stark eingeschränkt. Gründe dafür sind einerseits die Einschränkungen durch den Datenschutz, der Rückschlüsse auf die Mitarbeiterzahlen einzelner Betriebe verbietet. Andererseits werden Daten zum Gewerbe sehr selten nachgefragt, so dass detaillierte Erhebungen in der Regel nicht durchgeführt werden. Aufgrund der breiten Überschneidungen zwischen den Sektoren GHD und Industrie sind für die Hochrechnung des Energieverbrauchs im Sektor GHD jedoch detaillierte Daten über die Anzahl der Beschäftigten in den einzelnen Unternehmen sowie Informationen zur Einordnung der Unternehmen in der Klassifikation der Wirtschaftszweige erforderlich. Die erforderliche Detailtiefe der Datenbasis für die Hochrechnung des Energieverbrauchs kann daher nur über die Kombination mehrerer Datenquellen erreicht werden. Als mögliche Datenquellen wurden alle Institutionen untersucht, die über Daten zur Erwerbstätigkeit in den drei betrachteten Landkreisen verfügen. Nachfolgend werden ausgewählte Datenquellen sowie die dort geführten Daten geschildert.

Daten des bayerischen statistischen Landesamtes

Das bayerische statistische Landesamt veröffentlicht Daten zu den vor Ort ansässigen Gewerbebetrieben nur in aggregierter Form. Dabei werden die Erwerbstätigenzahlen in den drei folgenden Haupt- und Untergruppen angegeben:

- Land- und Forstwirtschaft, Fischerei
- Produzierendes Gewerbe
 - verarbeitendes Gewerbe
- Dienstleistungsgewerbe
 - Handel, Gastgewerbe und Verkehr
 - Finanzierung, Vermietung, Unternehmensdienstleistungen
 - Öffentliche und private Dienstleistungen

Eine weitere Untergliederung der Erwerbstätigen nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige wird vom statistischen Landesamt nicht veröffentlicht.

Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung (IAB)

Das Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung ist der Agentur für Arbeit in Nürnberg angegliedert und betreibt im Auftrag des Sozialgesetzbuches Beobachtungen, Untersuchungen und Auswertungen zur Entwicklung des Arbeitsmarktes. Die Grundlage der Statistiken zu den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten bildet im IAB das Meldeverfahren zur Sozialversicherung [40]. In dieses sind alle Arbeitnehmer,

einschließlich die zu ihrer Berufsausbildung Beschäftigten, die aufgrund ihres Beschäftigungsverhältnisses kranken- oder rentenversicherungspflichtig sind oder einer Versicherungspflicht nach dem dritten Sozialgesetzbuch unterliegen, eingebunden. Ebenfalls inbegriffen in der Beschäftigungsstatistik sind geringfügig entlohnte Beschäftigungsverhältnisse (Minijobs). Die Beschäftigtenstatistik wird mit einer Wartezeit von sechs Monaten im Vierteljahres-Rhythmus erstellt, während die Beschäftigten über die Klassifikation der Wirtschaftszweige einer Branche und über den Arbeitsort einer Region zugeordnet werden. Die Daten des IAB erfassen die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten sowie die Anzahl der Betriebe, in denen sozialversicherungspflichtig Beschäftigte vorhanden sind. Nicht berücksichtigt werden in der Statistik die tätigen Inhaber sowie Ein-Mann-Betriebe. Aus Datenschutzgründen können ab 01.01.2008 nur sehr eingeschränkt Daten zur Beschäftigtenstatistik durch das IAB bezogen werden. Für die vorliegende Arbeit wurde jedoch mit der Auflage, die Zahlen nicht in der Struktur der Wirtschaftszweige zu veröffentlichen, die Anzahl der Betriebe auf der Ebene der 3-Steller der WZ sowie die zugehörige Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten übermittelt.

Gewerbeämter des Landkreises und der Gemeinden

Durch die gesetzliche Verpflichtung, bei der Ausübung eines Gewerbes dieses beim zuständigen Gewerbeamt anzumelden, verfügen die Gemeinden über detaillierte Daten über die Art der im Landkreis ausgeübten gewerblichen Tätigkeiten. Bei der Gewerbeanmeldung wird die gewerbliche Tätigkeit durch einen Tätigkeitsschlüssel aus der Klassifikation der Wirtschaftszweige auf der Ebene der 5-Steller erfasst, sowie Name und Adresse des Gewerbetreibenden aufgenommen. Die Anzahl der Mitarbeiter eines Betriebes wird nur im Fall einer Ummeldung erfasst, so dass die Mitarbeiterzahlen nur für wenige Betriebe als eine Momentaufnahme vorliegen und damit nicht für die Hochrechnung des Energieverbrauchs verwendet werden können.

Wirtschaftsförderung der Landkreise

Zur Förderung der Aktivitäten in der regionalen Wirtschaft werden in den gleichnamigen Ämtern der Landratsämter Daten über die im Landkreis ansässige Wirtschaft gesammelt. Die Betriebe werden dabei mit Namen, Adresse und Inhaber sowie mit der Anzahl der Mitarbeiter aufgelistet. In den drei betrachteten Landkreisen war der Umfang dieser Liste sehr unterschiedlich, ferner werden sie mit sehr unterschiedlichem Aufwand gepflegt und aktualisiert.

4.4 Abbildung der Wirtschaftsstruktur im Sektor GHD in den drei betrachteten Landkreisen

4.4.1 Vorgehensweise bei der Abgrenzung zwischen den Sektoren Industrie und GHD

Die Abbildung der Wirtschaftsstruktur im Sektor GHD als Basis für die Hochrechnung des Energiebedarfs ist durch eine direkte Verwendung der im Abschnitt 4.3 geschilderten Daten zum Gewerbe in den drei betrachteten Landkreisen nicht möglich. Um die erforderliche Abgrenzung zwischen den Sektoren GHD und Industrie und damit die Zuordnung der einzelnen Betriebe zum jeweiligen Sektor vornehmen zu können, muss die Art der Tätigkeit eines Betriebes in Form des Tätigkeitsschlüssels nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige sowie die zugehörige Mitarbeiterzahl bekannt sein. Für die spätere Hochrechnung des Energiebedarfs sind die Mitarbeiterzahlen als Bezugsgröße ebenfalls erforderlich, jedoch wäre dafür die reine Anzahl an Erwerbstätigen einer Branche ausreichend.

Erkenntnisse zur Anzahl der Betriebe in den einzelnen Branchen und ihren Tätigkeiten können durch die Gewerbeanmeldungen gewonnen werden, während die Anzahl der Mitarbeiter in den Daten der Gewerbeämter fehlen. Da Betriebe einiger Herstellungsbranchen ab 20 Mitarbeitern dem Sektor Industrie zugerechnet werden, ist zur Identifikation dieser Betriebe eine Kombination der Gewerbedaten mit den Daten der Ämter zur Wirtschaftsförderung aus den Landkreisen erforderlich. Da die Listen der Ämter für Wirtschaftsförderung nur einen Teil der Betriebe des Landkreises enthalten, ist diese Verknüpfung der Daten für die spätere Hochrechnung des Energiebedarfs in den verschiedenen Branchen nicht ausreichend. Die Daten der Ämter zur Wirtschaftsförderung werden daher nur zur Identifikation der Betriebe des verarbeitenden Gewerbes verwendet, für die eine eindeutige Zuordnung zu einem der Sektoren nur über die Anzahl der Mitarbeiter des Betriebes möglich ist. Die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten wird den Daten des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung entnommen, die aufgrund der Einschränkungen zum Datenschutz nur auf der Ebene der Dreisteller der WZ 2008 vorliegen. In diesen Zahlen wiederum inbegriffen sind die Beschäftigten der Listen aus den Ämtern zur Wirtschaftsförderung, die damit beiden Datensätzen entnommen werden müssen.

4.4.2 Erhebung der Gewerbeanmeldungen in den Landkreisen

Um Informationen über die Struktur des in den drei betrachteten Landkreisen ansässigen Gewerbes auf der Ebene der 5-Steller der WZ zu erhalten, wurden in allen drei Landkreisen die Gewerbeanmeldungen abgefragt. Die Sammlung der Gewerbedaten

der einzelnen Gemeinden verlief in den drei Landkreisen sehr unterschiedlich. Während in einem Landkreis sämtliche Gewerbeanmeldungen im Gewerbeamt des Landratsamtes in elektronischer Form vorlagen, waren diese Daten in einem der drei Landkreise zum Teil nur in Papierform verfügbar. Aufgrund der großen Anzahl der Gewerbeanmeldungen musste eine Verarbeitung der Daten in Papierform jedoch ausgeschlossen werden. In zwei der drei betrachteten Landkreise wurden daher die Gewerbeanmeldungen direkt bei den Gemeinden abgefragt. Dazu war in den meisten der 46 Gemeinden eine persönliche Kontaktaufnahme erforderlich. Die Abfrage der Gewerbeanmeldungen erfolgte im zweiten Quartal des Jahres 2008.

Obwohl einzelne Gemeinden die Daten direkt übermittelten, bestand bei vielen Gemeinden ein wesentliches Hindernis bei der Übertragung der Daten in der Bedienung der unterschiedlichen Verwaltungssoftwaresysteme. Nach Kontaktaufnahme mit den Herstellern der Software unterstützte ein Hersteller die Datenübermittlung mit einer eigens für diesen Vorgang angefertigten Anleitung. In den Gemeinden, die die Software des bayerischen statistischen Landesamtes zur Verwaltung der Gewerbeanmeldungen nutzen, wurde die Übertragung der Daten durch das Engagement seitens der Mitarbeiter des statistischen Landesamtes erheblich erleichtert. Nach Erteilung einer Vollmacht für die Übertragung der Daten, wurden diese für mehrere Gemeinden gesammelt übermittelt. Da trotz der weiten Verbreitung der elektronischen Datenverarbeitung in einzelnen Gemeinden die Erfassung der Gewerbeanmeldungen noch immer schriftlich erfolgt, konnte im Landkreis Erlangen-Höchststadt eine Gemeinde nicht berücksichtigt werden. Insgesamt wurden in zwei Landkreisen von den verbleibenden 45 Gemeinden 27.304 Datensätze zu Gewerbeanmeldungen übermittelt, für den dritten Landkreis wurden weitere 12.504 Datensätze in einer Zusammenstellung vom Landratsamt direkt zugesendet.

Die Qualität der Datensätze zu den Gewerbeanmeldungen war sehr unterschiedlich, so dass bei den meisten Datensätzen eine aufwendige Nachbearbeitung erforderlich war. Besonders betroffen waren davon die Tätigkeitsschlüssel, die in ca. 15 % der Datensätze völlig fehlten. Zudem waren bei ca. weiteren 10 % der Gewerbeanmeldungen Tätigkeitsschlüssel aufgelistet, die nicht den Schlüsseln der Wirtschaftsordnung entsprachen. Eine mögliche Ursache dafür ist die Umstellung der Wirtschaftsordnung WZ 2003 zur WZ 2008, die zum Jahreswechsel 2008 stattgefunden hatte. In diesem Zug mussten sämtliche Tätigkeitsschlüssel der neuen Branchenordnung angepasst werden, was in einigen Gemeinden zum Zeitpunkt der Datensammlung noch nicht oder nur unvollständig erfolgt war. Insgesamt mussten daher vor einer Verarbeitung der Daten mehr als 10.000 Tätigkeitsschlüssel für die Gewerbeanmeldungen überarbeitet werden.

Neben den fehlenden und falschen Tätigkeitsschlüsseln bestand eine weitere Einschränkung in der Qualität der Daten durch zahlreiche Doppel- und Mehrfachnennungen. Einige Doppelmeldungen unterschieden sich leicht in der Schreibweise der Betriebsnamen, während andere in völlig gleichartiger Schreibweise mehrfach vorhanden waren. Deutliche Unterschiede in der Erfassung der Gewerbeanmeldungen

in den Gemeinden zeigten sich in der Anzahl der Mehrfachnennungen. Ist die Anmeldung mehrere Gewerbe durch die unterschiedlichen Tätigkeiten eines Gewerbetreibenden häufig begründet, so finden sich in einigen Gemeinden für die Tätigkeit eines Gewerbetreibenden mehrere Nennungen, deren Tätigkeitsbeschreibung einen Sachverhalt nur in unterschiedlicher Ausdrucksweise beschreibt. Zumeist wurden dabei unterschiedlichen Tätigkeitsschlüssel verwendet.

4.4.3 Methodik der Hochrechnung der Erwerbstätigenzahlen im Sektor GHD in den drei Landkreisen

Wie in Abschnitt 4.2 erläutert wurde, bildet die Anzahl der Erwerbstätigen im Sektor GHD die Grundlage für die Hochrechnung des Energiebedarfs. Da sowohl in der aktuellen als auch in früheren Ausgaben der Klassifikation der Wirtschaftszweige keine Berücksichtigung der Energieverbrauchsstrukturen bei der Gruppierung der Betriebe erfolgt, werden bereits auf der 3-Steller-Ebene der Wirtschaftsordnung Betriebe mit sehr unterschiedlichem Energiebedarf in einer Gruppe vermengt. Dies hat zur Folge, dass die Erwerbstätigenzahlen auf der Ebene der 3-Steller bereits keine ausreichend detaillierte Datengrundlage für die Hochrechnung des Energiebedarfs bilden. Um eine ausreichend detaillierte Hochrechnung des Energieverbrauchs vornehmen zu können und um die spezifischen Verbrauchswerte aus der Studie zum Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistung [36] für die Hochrechnung des Energieverbrauchs verwenden zu können, ist daher eine Betrachtung der Erwerbstätigenzahlen mindestens auf der Ebene der 4-Steller der WZ erforderlich.

Durch die geschilderte Gruppierung von Betrieben unterschiedlichster Verbrauchsstrukturen sowie die mitarbeiterzahlabhängige Definition des Sektors GHD ist auf der Ebene der 3-Steller der WZ ohne zusätzliche Informationen keine eindeutige Unterscheidung zwischen den Betrieben der Sektoren GHD und Industrie möglich. Diese erfordert die detaillierte Kenntnis der Anzahl der Mitarbeiter sowie des Tätigkeitsschlüssels mindestens auf der Ebene der 4-Steller der WZ. Da die Informationen zu den Tätigkeiten der einzelnen Betriebe in Form der Gewerbeanmeldungen auf der Ebene der 5-Steller vorliegen, wird die Ebene der 5-Steller als Basis für die Hochrechnung der Erwerbstätigenzahlen gewählt. Aufgrund des unterschiedlichen Detaillierungsgrades der zur Verfügung stehenden Datenquellen mussten für die Hochrechnung der Erwerbstätigenzahlen vereinfachende Annahmen getroffen werden, so dass die damit ermittelten Erwerbstätigenzahlen nur eine Näherung an die vorhandene Situation darstellen können. Zur Verknüpfung der Datenquellen musste in mehreren Schritten vorgegangen werden, die nachfolgend kurz erläutert werden.

Zuordnung der Mitarbeiterzahlen der bekannten Betriebe

Im ersten Schritt wurden mit Hilfe der Listen der Ämter für Wirtschaftsförderung die bekannten Betriebe der Landkreise in den Gewerbeanmeldungen gekennzeichnet. Dazu

wurde jeder einzelnen Gewerbeanmeldung eine eindeutige Identifikationsnummer zugewiesen, der in einer weiteren Tabelle die bekannte Anzahl an Mitarbeitern des Betriebes zugeordnet wird. Parallel dazu wurden die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten sowie die Anzahl der Betriebsstätten in den Daten des Institutes für Arbeitsmarkt und Berufsforschung um die Kennwerte des bekannten Betriebes reduziert. Auf diesem Weg werden insbesondere große Industriebetriebe aus den Zahlen des IAB herausgefiltert. Da es sich bei den in den Landratsämtern geführten Listen teilweise nur um eine grobe Zusammenstellung handelte, die nur die „wichtigsten“ Betriebe des Landkreises beinhaltet, konnten Betriebe mit Mitarbeiterzahlen zwischen 20 und ca. 40 Mitarbeitern teilweise nicht identifiziert und herausgefiltert werden.

Reduzierung der Mehrfachnennungen

Im zweiten Schritt wurden die Gewerbeanmeldungen auf Mehrfachnennungen eines Gewerbetreibenden überprüft, indem der Name des Betriebes sowie Name und Anschrift des Inhabers verglichen wurden. Stimmt diese Daten bei mehreren Gewerbeanmeldungen vollständig überein, so wurde der tätige Inhaber nur in einem der gemeldeten Betriebe berücksichtigt. Betriebe mit bekannten Mitarbeiterzahlen, wurden bei dieser Auswahl vorrangig behandelt. Durch Berücksichtigung nur eines Betriebes bei Mehrfachnennungen sollte eine unrealistisch hohe Anzahl an tätigen Inhabern und Betrieben ohne sozialversicherungspflichtig Beschäftigte aber mit steuerbarem Einkommen (Ein-Personen-Betriebe) vermieden werden.

Anzahl der tätigen Inhaber und Ein-Personen-Betriebe

Im dritten Schritt wurde die verbleibende Anzahl der gemeldeten Einzelbetriebe auf der Ebene der 3-Steller summiert, um die Anzahl der tätigen Inhaber und der Ein-Personen-Betriebe zu bestimmen. Dazu wurden die gewonnenen Zahlen mit der Anzahl an Betriebsstätten verglichen, die in den Daten des IAB auf der Ebene der 3-Steller vorliegen. Übersteigt die Anzahl der Gewerbeanmeldungen die Anzahl der Betriebsstätten nach IAB, so werden die überzähligen Betriebe als Ein-Personen-Betriebe berücksichtigt. Ferner wurde jedem Betrieb mit sozialversicherungspflichtig beschäftigten Mitarbeitern ein tätiger Inhaber zugewiesen.

Verteilung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten

Im letzten Schritt erfolgte die Zuweisung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zu den einzelnen Wirtschaftszweigen auf der Ebene der 5-Steller. Aufgrund der fehlenden Informationen zu der Größenstruktur der Betriebe einzelner Branchen erfolgte die Zuordnung der Betriebsstätten sowie der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der 3-Steller zu gleichen Teilen auf die darunter vereinten 5-Steller. Hierbei wurden jedoch nur den Branchen Betriebe und Beschäftigte zugewiesen, in denen eine Gewerbeanmeldung vorgelegen hatte. Die Beschäftigten wurden auf die An-

zahl der Betriebsstätten mit sozialversicherungspflichtig Beschäftigten Mitarbeitern nach der Betriebsstättenstatistik verteilt.

In der nachfolgenden **Abb. 4-1** sind die zuvor erläuterten Schritte bei der Ermittlung der Erwerbstätigenzahlen noch einmal schematisch dargestellt.

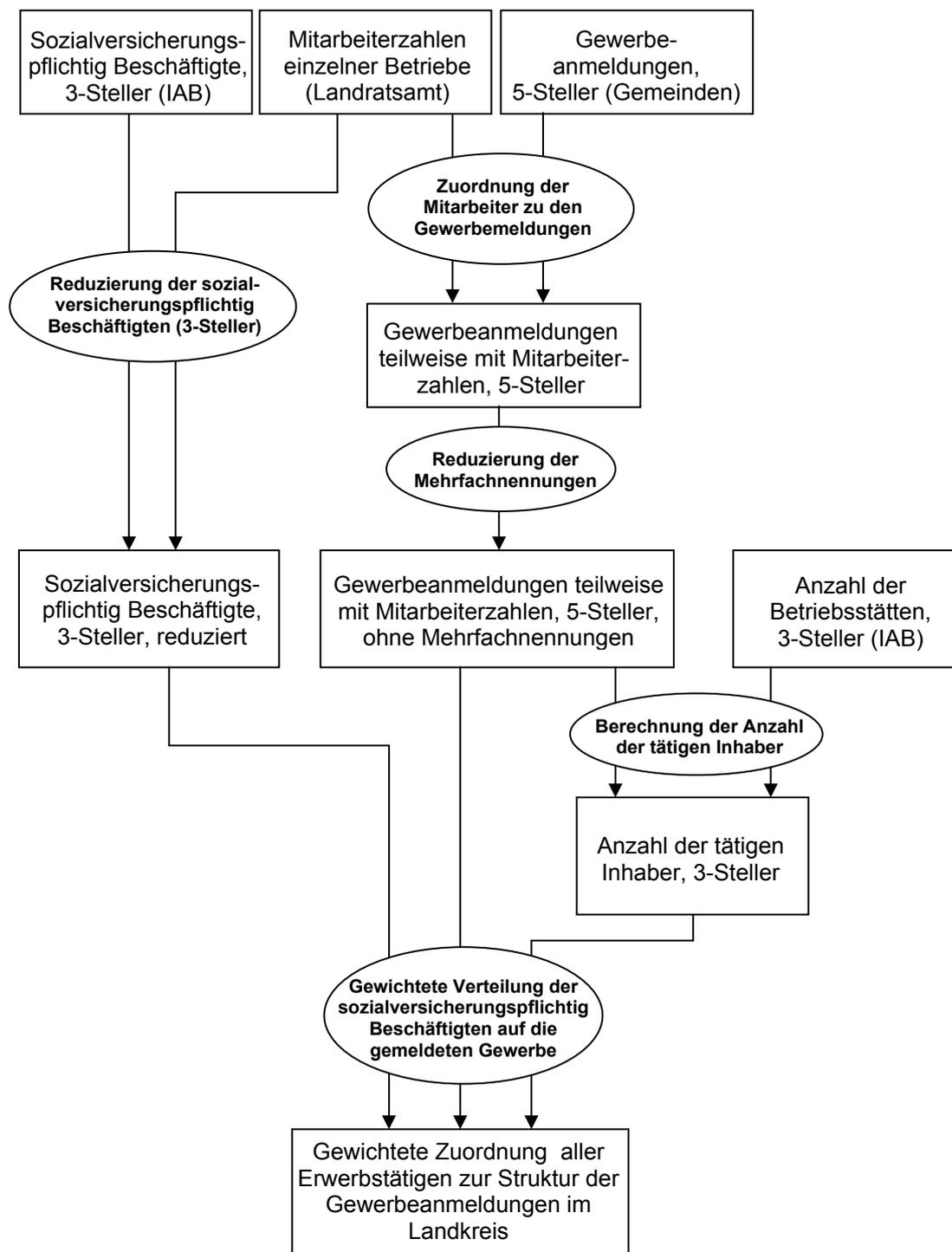


Abb. 4-1. Ablaufdiagramm zur Bestimmung der Erwerbstätigenzahlen auf der Ebene der 5-Steller nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige [38].

Durch die Zuweisung eines tätigen Inhabers an die Betriebe mit sozialversicherungspflichtig Beschäftigten besteht die Möglichkeit, einen großen Teil der Erwerbstätigen der Berufsgruppe der freien Berufe zu erfassen, für die eine statistische Erfassung auf der Ebene von Landkreisen nicht erfolgt. Laut Definition des Partnerschaftsgesellschaftsgesetzes, § 1 Abs. 2 S. 1, haben diese „[...]im Allgemeinen auf der Grundlage besonderer beruflicher Qualifikation oder schöpferischer Begabung die persönliche, eigenverantwortliche, und fachlich unabhängige Erbringung von Dienstleistungen höherer Art im Interesse der Auftraggeber und der Allgemeinheit zum Inhalt.“ Erfüllt die Ausübung des freien Berufes die Wesensmerkmale der Katalog- oder katalogähnlichen Berufe nach § 18 Abs. 1 Nr. 1 Einkommensteuergesetz, so besteht für den Erwerbstätigen keine Pflicht über die Meldung eines Gewerbes und damit keine Gewerbesteuerpflicht. Die Katalogberufe nach § 18 Abs. 1 Nr. 1, Einkommensteuergesetz sind:

Heilberufe:

Ärzte, Zahnärzte, Tierärzte, Heilpraktiker, Dentisten, Krankengymnasten (seit 1994 neue Bezeichnung: Physiotherapeuten)

Rechts-, steuer- und wirtschaftsberatende Berufe:

Rechtsanwälte, Patentanwälte, Notare, Wirtschaftsprüfer, Steuerberater, Steuerbevollmächtigte, beratende Volks- und Betriebswirte, vereidigte Buchprüfer und Bücherrevisoren

Naturwissenschaftliche/technische Berufe:

Vermessungsingenieure, Ingenieure, Handelschemiker, Architekten, Lotsen

Sprach- und informationsvermittelnde Berufe:

Journalisten, Bildberichterstatter, Dolmetscher, Übersetzer

Ist die Ausübung vieler der genannten Berufssparten in der Regel nur in Verbindung mit sozialversicherungspflichtig Beschäftigten wie beispielsweise ArzthelferInnen in einer Arztpraxis möglich und damit eine Meldung zur Sozialversicherung der Beschäftigten erforderlich, so werden die Betriebsstätte wie auch die Beschäftigten des Betriebes in der Statistik des IAB erfasst. Für Erwerbstätige, die die freien Berufe ohne die Mitarbeit sozialversicherungspflichtig Beschäftigter ausüben, wie zum Beispiel Psychotherapeuten oder Journalisten, erfolgt keine statistische Erfassung auf der Ebene der Landkreise. Eine Berücksichtigung in der hier vorgenommenen Hochrechnung der Erwerbstätigenzahlen ist damit nicht möglich. Ebenfalls nicht berücksichtigt in der Hochrechnung der Erwerbstätigenzahlen sind die Lehrkräfte sowie die Rektoren von Schulen, da der Energiebedarf von Schulen nicht über die Bezugseinheit der Erwerbstätigen, sondern über die Schüleranzahl erfolgt. Die Anzahl der kommunalen Wahlbe-

amten und die in den Behörden tätigen Beamten wurden zu den Erwerbstätigen in der öffentlichen Verwaltung hinzuaddiert. Die Erwerbstätigen der Krankenhäuser werden in der Hochrechnung der Erwerbstätigen berücksichtigt und dargestellt. Die Hochrechnung des Energiebedarfs der Krankenhäuser erfolgt jedoch über die Anzahl der Betten in den Krankenhäusern der Landkreise.

Im Bereich Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei ist eine Erfassung der Erwerbstätigen über die geschilderte Vorgehensweise nicht möglich, da nur ein kleiner Anteil der landwirtschaftlichen Betriebe sozialversicherungspflichtige Mitarbeiter beschäftigt und damit nur für wenige Betriebe eine Erfassung in den Zahlen des Instituts für Arbeitsmarkt und Berufsforschung besteht. Die Anzahl der Erwerbstätigen in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei wird deshalb den Angaben des bayerischen statistischen Landesamtes entnommen, die diesen Bereich gesondert ausweisen.

4.4.4 Erwerbstätigenzahlen in den verschiedenen Branchen der WZ im Sektor GHD der drei betrachteten Landkreise

Unter Anwendung der zuvor geschilderten Methodik wurden zunächst ca. 28.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte unter Verwendung der Listen der Landratsämter aus den Daten des IAB herausgefiltert und in den Gewerbeanmeldungen identifiziert. Anschließend wurden aus den 39.282 Gewerbeanmeldungen 1.431 Doppelnennungen sowie 9.924 Mehrfachnennungen aussortiert. Die Zuordnung der verbliebenen ca. 61.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zu den 27.927 Gewerbeanmeldungen ergab für die drei Landkreise im Sektor GHD folgende Erwerbstätigenzahlen in den Hauptbereichen der WZ 2008. Wie bereits im Abschnitt zuvor geschildert, sind die Erwerbstätigen der Schulen in dieser Zusammenstellung nicht enthalten.

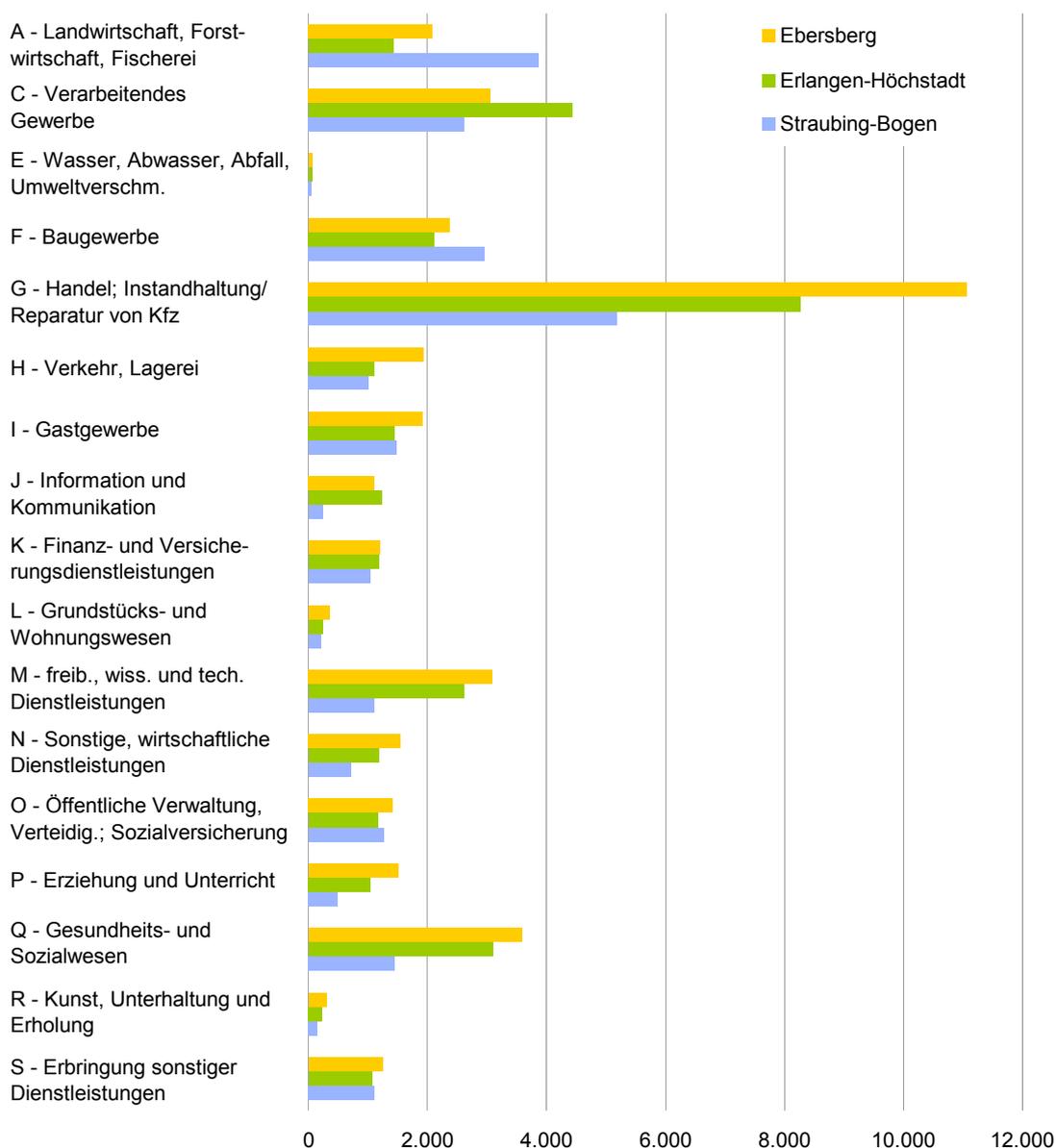


Abb. 4-2. Erwerbstätige des Sektors GHD in den drei Landkreisen, unterschieden nach den Hauptbranchen der WZ 2008.

In der Summe wurden in den drei Landkreisen folgende Anzahlen Erwerbstätiger ermittelt.

Ebersberg 37.840 Erwerbstätige

Erlangen-Höchstadt 31.891 Erwerbstätige

Straubing-Bogen 24.950 Erwerbstätige

Zur Validierung der Ergebnisse wurde die Summe der Erwerbstätigen im Sektor GHD des jeweiligen Landkreises den Angaben des statistischen Landesamtes gegenübergestellt. Verglichen wurde dabei die Summe der Erwerbstätigen in den Dienstleistungs-

bereichen und der Landwirtschaft des Landkreises [42]. Da das statistische Landesamt die Unterscheidung zwischen dem produzierenden Gewerbe und den Dienstleistungsbetrieben allein anhand der WZ vornimmt, ist zu erwarten, dass die Summe aus den Erwerbstätigen der Dienstleistungsbereiche und der separat ausgewiesenen Landwirtschaft einen geringeren Betrag als den hier ermittelten aufweist. Der Differenzbetrag ist das verarbeitende Kleingewerbe in Betrieben mit weniger als 20 Mitarbeitern. Diese Erwartung traf für alle Landkreise zu, jedoch unterscheidet sich der jeweilige Anteil in drei Landkreisen erheblich. In der nachfolgenden Tabelle sind die errechneten Zahlen den Angaben des statistischen Landesamtes gegenübergestellt, sowie die Abweichungen aufgeführt.

Tab. 4-3. Gegenüberstellung der hier berechneten Erwerbstätigenzahlen (ETZ) im Sektor GHD mit den Erwerbstätigenzahlen der Dienstleistungsbereiche nach den Angaben des bayerischen statistischen Landesamtes [43].

Landkreis	berechnete ETZ	ETZ nach [43]	Abweichung
Ebersberg	37.840	36.789	+ 2,8 %
Erlangen-Höchstadt	31.891	29.572	+ 7,8 %
Straubing-Bogen	24.950	20.955	+ 19,1 %

Unter Beachtung des bottom-up-Charakters der hier vorgenommenen Hochrechnung, sind die Abweichungen in den Erwerbstätigenzahlen der Landkreise Ebersberg und Erlangen-Höchstadt gering. Die Abweichung im Landkreis Straubing-Bogen ist mit nahezu 20 % sehr hoch. Eine Ursache für diese hohe Abweichung kann eine große Anzahl nebenberuflich ausgeübter Gewerbetätigkeiten sein, die insbesondere bei den Erwerbstätigen der Landwirtschaft durch die saisonalen Schwankungen des Arbeitsaufkommens verstärkt auftritt. Da für viele landwirtschaftliche Tätigkeiten keine Gewerbemeldetpflicht besteht, ist eine Gegenüberstellung der Mehrfachnennungen dieser Gewerbetreibenden zur Bestimmung des Hauptgewerbes nicht möglich. In der Konsequenz erfolgt die Berücksichtigung der tätigen Inhaber in einigen Betrieben doppelt. Als weitere Ursache könnte eine vergleichsweise große Anzahl kleinerer Betriebe im verarbeitenden Gewerbe des Landkreises Straubing-Bogen in Betracht gezogen werden. In der Statistik des bayerischen Landesamtes werden diese Betriebe aufgrund der Unterscheidung nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige dem verarbeitenden Gewerbe zugerechnet, in der vorliegenden Hochrechnung werden sie dem Sektor GHD zugeordnet. Da keine Informationen zu den Betriebsgrößen der kleinen Betriebe in den drei Landkreisen vorliegen, kann keine abschließende Einschätzung zur Anzahl dieser Betriebe vorgenommen werden. Obwohl im Landkreis Straubing-Bogen eine sehr umfangreiche Liste zu den bekannten Betrieben des Landkreises vorlag, konnten in den Gewerbemeldungen des Landkreises nicht alle Betriebe wieder gefunden werden. Der prozentuale Anteil der Erwerbstätigen des verarbeitenden Gewerbes im Landkreis Straubing-Bogen muss daher als leicht erhöht eingestuft

werden, da einige der Betriebe eigentlich dem Sektor Industrie zugeordnet werden müssten.

Da die absoluten Zahlen der **Abb. 4-2** aufgrund der sehr unterschiedlichen Gesamtsumme an Erwerbstätigen in den drei Landkreisen für einen Vergleich nur bedingt geeignet sind, werden in der folgenden **Abb. 4-3** die prozentualen Anteile der Erwerbstätigen der unterschiedlichen Branchen an der Gesamterwerbstätigenzahl des jeweiligen Landkreises dargestellt.

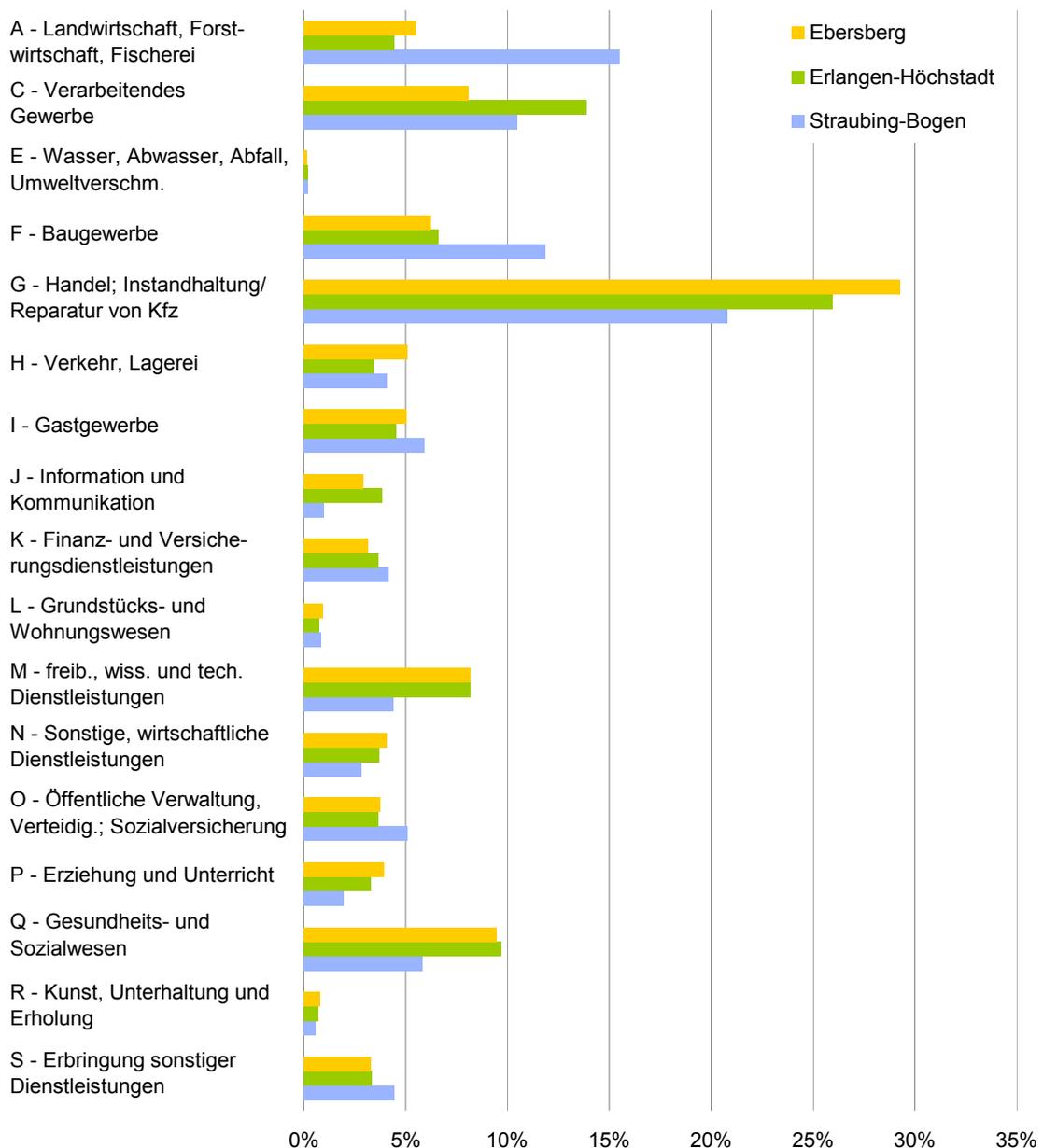


Abb. 4-3. Prozentuale Anteile der Erwerbstätigen des Sektors GHD in den drei Landkreisen in den Hauptbranchen der WZ 2008.

Die prozentualen Anteile der Abb. 4-3 verdeutlichen die starke Ausprägung des Erwerbstätigenanteils in der Landwirtschaft im Landkreis Straubing-Bogen, der nahezu das Dreifache des Anteils in den beiden anderen Landkreisen beträgt. Analog dazu lässt sich für den Landkreis Ebersberg ein Vorsprung im Anteil der Erwerbstätigen in Handel und Dienstleistungen erkennen, der zu Beginn für die Auswahl des Landkreises ausschlaggebend gewesen ist. Im Landkreis Erlangen-Höchstadt ist der Anteil der Erwerbstätigen im verarbeitenden Gewerbe vergleichsweise hoch. Da sich die Auskunft des Landratsamtes zu den industriellen Betrieben im Landkreis Erlangen-Höchstadt jedoch auf die Industriebetriebe mit mehreren hundert oder über tausend Mitarbeitern beschränkte, konnten nur ein Teil der Industriebetriebe aus den Daten herausgefiltert werden. Die Anzahl der Mitarbeiter im verarbeitenden Gewerbe muss daher als leicht erhöht eingestuft werden.

4.5 Hochrechnung des Energieverbrauchs im Sektor GHD der drei Landkreise

Unter Beachtung der genannten Unsicherheiten in der Abbildung der Erwerbstätigenstruktur im Sektor GHD der Landkreise konnten mit der in Abschnitt 4.4.3 geschilderten Methodik eine Zuordnung der Erwerbstätigen in den drei Landkreisen vorgenommen werden, die die ausgeübte Tätigkeit jedes einzelnen Erwerbstätigen auf der Ebene der 5-Steller der WZ beschreibt. Die Hochrechnung des Energiebedarfs im Sektor GHD der Landkreise kann damit analog zu der Vorgehensweise in [36] erfolgen, indem die Erwerbstätigen als Bezugseinheit für die spezifischen Brennstoff- und Stromverbrauchswerte in den Gruppen mit ähnlichen Verbrauchsstrukturen eingesetzt werden können. Ausnahmen davon bilden die Bereiche Krankenhäuser und Schulen, für die die Bezugseinheiten Betten und Schüler verwendet werden. In den folgenden Abschnitten werden die Systematik bei der Einteilung der Erwerbstätigen in Gruppen ähnlicher Verbrauchsstrukturen sowie die Vorgehensweise und die zu Grunde liegenden Annahmen bei der Ermittlung der spezifischen Verbrauchswerte in [36] geschildert.

4.5.1 Gliederung der Wirtschaftsbranchen in Gruppen ähnlicher Verbrauchsstrukturen

Da die Systematik der aktuell gültigen sowie vorangegangener Wirtschaftsordnungen nicht die Energieverbrauchsstrukturen der einzelnen Branchen berücksichtigt, wurde in den Studien zum Energiebedarf des Sektors GHD eine von der WZ unabhängige Zusammenfassung verschiedener Wirtschaftsbranchen in Gruppen mit ähnlichen Verbrauchsstrukturen vorgenommen. Nachdem in den ersten beiden Studien erheblich mehr Gruppen unterschieden wurden, konnte in den Folgestudien durch die Zusammenfassung von Bereichen ähnlicher Verbrauchsstrukturen eine Reduzierung auf zwölf Gruppen mit Untergruppen vorgenommen werden. Dabei werden ca. 95 % der Erwerbstätigen des Sektors in den folgenden Gruppen und Untergruppen (Splits) erfasst:

- Baugewerbe
- Büroähnliche Betriebe (Kreditinstitute, Verlagsgewerbe, sonstige betrieblich Dienstleistungen, Gebietskörperschaften und Sozialversicherung, Deutsche Post, Deutsche Bahn)
- Herstellungsbetriebe (Metall-, Kfz-, Holz-, Papier- und Druckgewerbe)
- Handel (Einzel- und Großhandel, Handelsvermittlungen)
- Krankenhäuser, Schulen, Bäder
- Beherbergungen und Gaststätten (auch Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime)
- Nahrungsmittelgewerbe (Backgewerbe, Fleischereien, restliches Nahrungs- und Genussmittelgewerbe)

- Wäschereien
- Landwirtschaft
- Gartenbau (in manchen Statistiken der Landwirtschaft enthalten)
- Flughäfen
- Textil, Bekleidung, Spedition, Lagerei

In den meisten der genannten Splits findet eine weitere Untergliederung in so genannte Subplits statt, anhand derer die unterschiedlichen Energiebedarfsstrukturen der Splits weiter spezifiziert werden. Aufgrund des bottom-up-Charakters der Vorgehensweise erfolgt die Zuordnung der Tätigkeit eines Erwerbstätigen in die geschilderte Gruppierung auf der tiefsten Ebene die in den meisten Gruppen die Subsplit-Ebene ist. Für die Zuordnung muss der Tätigkeitsschlüssel des Erwerbstätigen mindestens auf der Ebene der 4-Steller der WZ bekannt sein.

4.5.2 Spezifische Energieverbrauchswerte der Branchen im Sektor GHD

Die spezifischen Verbrauchswerte der einzelnen Einsatzgebiete von Energie im Sektor GHD wurden in der Studie zum Energieverbrauch des Sektors in Deutschland [2] im Rahmen der dreijährigen Projektlaufzeit auf der Grundlage mehrerer Erhebungen ermittelt. Dabei orientiert sich das Untersuchungskonzept der Studie an den aus Vorgängerstudien gewonnenen Erfahrungen, so dass eine Weiterentwicklung der Methodik und der Möglichkeiten zur Informationsbeschaffung erzielt wurde. Die Erhebung in [2] gliederte sich in zwei Breitenerhebungen für die Jahre 2004 und 2006, die jeweils im Winter 2005/2006 und 2007/2008 durchgeführt wurden. In der zweiten Breitenerhebung kam gegenüber der ersten für das Jahr 2004 ein umfangreicherer Fragebogen zum Einsatz, der neben dem mit der ersten Erhebung identischen allgemeinen Teil einen branchenspezifischen Abschnitt und weiterführende Fragen zum Energiemanagement der Betriebe enthielt. Ergänzend zu den Breitenerhebungen wurde im Sommer 2007 eine Intensivbefragung mit persönlichen Tiefeninterviews in ausgewählten Betrieben durchgeführt, auf deren Datenbasis der Energieverbrauch im GHD-Sektor nach Anwendungsarten für das Jahr 2006 aufgeschlüsselt werden konnte. Da die Durchführung der Interviews mit hohen Kosten verbunden war, wurde die Stichprobe auf 2.000 Interviews begrenzt. Zur Sicherstellung der Datenqualität wurde eine quotierte Stichprobe gewählt, deren Quotierung anhand der zu erwartenden Energieverbrauchsschwerpunkte erstellt wurde. Um die Belastbarkeit der gewonnenen Informationen zu überprüfen, wurden die Ergebnisse der Vorgängerstudien sowie unter anderem Vergleichswerte aus den Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland der Jahre 1990-2006 und den Auswertungstabellen 1990-2007 [41] herangezogen.

Auf der Gruppen- und Splitebene resultieren die spezifischen Brennstoff- und Stromverbrauchswerte sowohl aus den Ergebnissen der Fragebögen wie auch aus den Gewichtungsfaktoren aus dem Unternehmensregister. Letzteres gibt die Verteilung der

Erwerbstätigen auf Gruppen- und Splitebene wieder, so dass die spezifischen Verbrauchswerte dieser Ebenen nur in Verbindung mit der zu Grunde liegenden Verteilung der Erwerbstätigen Gültigkeit besitzen.

Für die Gruppe der Land- und Forstwirtschaft zeigten bereits die Vorgängerstudien der Studie [2], dass selbst mit einer großen Anzahl von befragten Betrieben der Strom- und der Brennstoffverbrauch dieser Gruppe nur näherungsweise erfasst werden können. Die verwendeten Energieverbrauchswerte in Land- und Forstwirtschaft wurden daher auf der Grundlage der statistisch verfügbaren Daten ermittelt, während die Anwendungsstrukturen beim Einsatz von Energie in dieser Gruppe durch die Befragungsergebnisse weiter detailliert werden konnten. Da auf der Ebene der drei betrachteten Landkreise nur die Anzahl der Erwerbstätigen in Land- und Forstwirtschaft vorliegen und keine vollständigen Daten zur Anzahl der Betriebe, ihrer Größe und dem Schwerpunkt der einzelnen Betriebe, werden hier die mittleren Verbrauchswerte verwendet.

In den Schulen bilden die Schüler die Bezugseinheit für die Hochrechnung des Brennstoff- und Strombedarfs. Die Anzahl der Schüler wird den statistischen Berichten zu den bayerischen Schulen im Schuljahr 2008/2009 [42] entnommen. Als abweichende Bezugsgröße sind die Schüler in der Hochrechnung der Erwerbstätigenzahlen in Abschnitt 4.4.4 nicht inbegriffen. Analog zu den Schulen erfolgt die Hochrechnung des Energiebedarfs der Krankenhäuser nicht anhand der Erwerbstätigen innerhalb des Krankenhauses. Die Bezugseinheit für den Energiebedarf der Krankenhäuser bildet die Anzahl der Krankbetten, die in den drei Landkreisen stark variiert. Da die Anzahl der Erwerbstätigen in Krankenhäusern nach den Zahlen des Institutes für Arbeitsmarkt und Berufsforschung jedoch in allen drei Landkreisen die Anzahl an Krankenhausbetten um ein vielfaches übersteigt, wird nur ein Teil dieser Erwerbstätigen der Pflege zugerechnet. Die Anzahl der Ärzte und der Beschäftigten in der Pflege wird daher nach dem Verhältnis zwischen Krankenhausbetten und den Ärzten und Pflegern auf Deutschlandebene berechnet. Die übrigen Erwerbstätigen der Krankenhäuser werden im Subsplit Heime berücksichtigt.

4.5.3 Energiebedarf im Sektor GHD der drei Landkreise

Analog zu den Erwerbstätigenzahlen ist der Energiebedarf im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung in den drei betrachteten Landkreisen unterschiedlich hoch. Die Unterschiede befinden sich nicht allein in den absoluten Brennstoff- und Stromverbrauchswerten, sondern ebenso in den prozentualen Anteilen der Gruppen ähnlicher Verbrauchsstrukturen am Energieverbrauch der drei Landkreise. Die in **Abb. 4-4** dargestellten prozentualen Anteile am Energieverbrauch des Sektors verdeutlichen die Unterschiede zwischen den drei Landkreisen. Da die Hochrechnung des Energiebedarfs hier ebenso wie in der Studie zum Energieverbrauch des Sektors GHD in Deutschland [2] in Gruppen, Splits und Subplits und nicht nach der Einteilung der Klassifikation der

Wirtschaftszweige erfolgt, wird die Einteilung des Energieverbrauchs in Gruppen ähnlicher Verbrauchsstrukturen für die nachfolgenden Darstellungen ebenso verwendet.

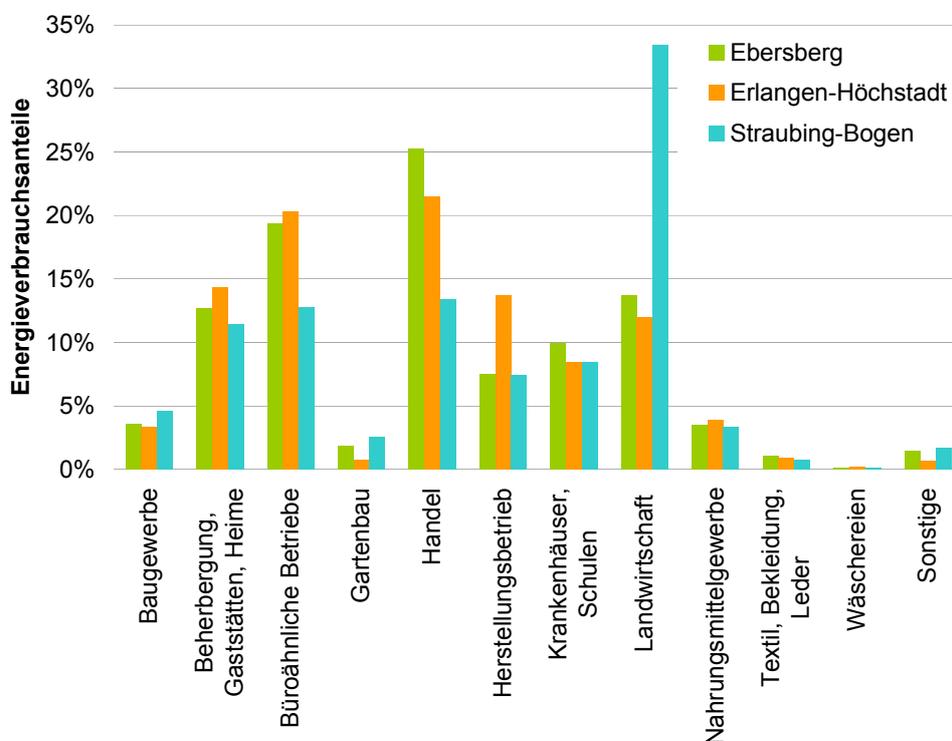


Abb. 4-4. Prozentuale Anteile der Gruppen ähnlicher Verbrauchsstrukturen am Energieverbrauch im Sektor GHD in den drei betrachteten Landkreisen im Jahr 2008.

Auffallend hoch ist im Landkreis Straubing-Bogen der Energieverbrauchsanteil in der Landwirtschaft, der mehr als doppelt so hoch ist wie in den beiden anderen betrachteten Landkreisen. Da der Anteil der Erwerbstätigen in dieser Gruppe mit nur ca. 15 % im Landkreis Straubing-Bogen deutlich geringer ist als der Erwerbstätigenanteil des Handels mit ca. 20 %, unterstreicht der hohe Verbrauch der Landwirtschaft die Energieintensität dieser Branche. Ähnlichkeiten bestehen zwischen den Landkreisen Ebersberg und Erlangen-Höchstadt im Energieverbrauchsanteil des Handels und den büroähnlichen Betrieben, die in beiden Landkreisen die stärksten Verbrauchsgruppen bilden. Zwischen allen drei Landkreisen befinden sich Ähnlichkeiten in den Gruppen Beherbergung, Gaststätten, Heime, Krankenhäuser und Schulen sowie in den übrigen Verbrauchsgruppen mit geringeren prozentualen Anteilen. Die Ursache für den hohen Energieverbrauch im Landkreis Straubing-Bogen bildet der hohe Energieverbrauch der Landwirtschaft, die nach den Gruppen Gartenbau und Sonstige (NE-Metalle, Kunststoffe, Gummi) den drittgrößten spezifischen Energieverbrauch aller Gruppen aufweist und damit den Energieverbrauch des Landkreises maßgeblich beeinflusst. Zum Vergleich dieser Einflussgrößen enthält **Abb. 4-5** die Gegenüberstellung der spezifischen Verbrauchswerte auf Gruppenebene in den drei Landkreisen.

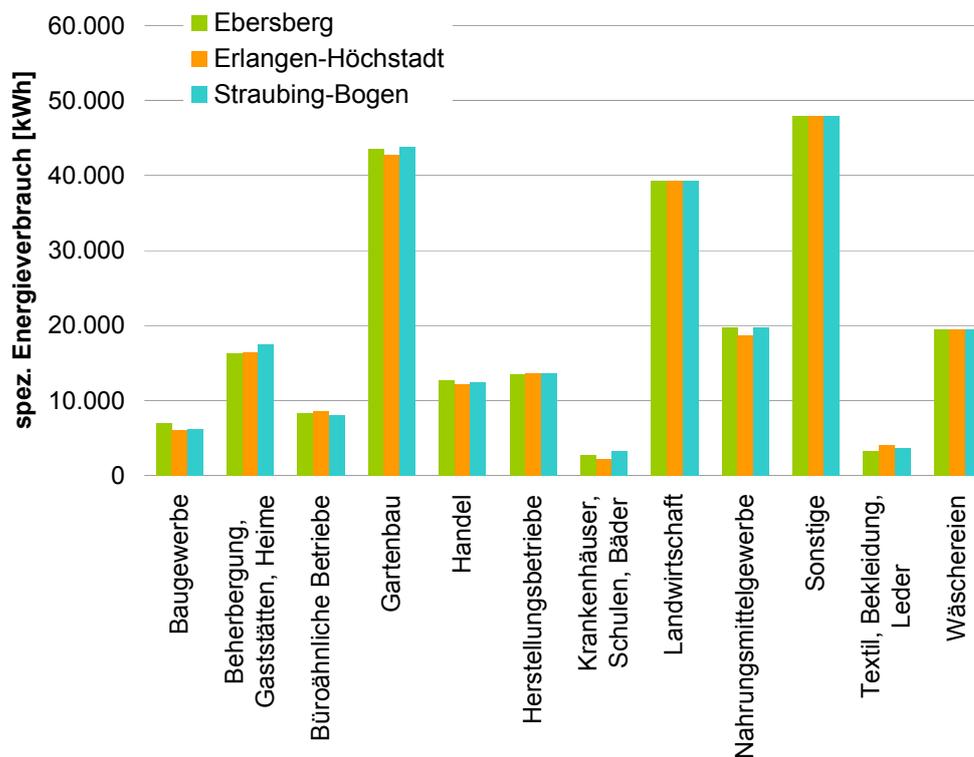


Abb. 4-5. Spezifische Energieverbrauchswerte in den drei betrachteten Landkreisen auf Gruppenebene im Jahr 2008.

Die Unterschiede zwischen den in **Abb. 4-5** dargestellten spezifischen Verbrauchswerten in einer Gruppe resultieren aus der zu Grunde liegenden Erwerbstätigenstruktur des jeweiligen Landkreises, da der dargestellte spezifische Verbrauch einen gewichteten Mittelwert aus den anteiligen Verbrauchswerten der Splits und Subsplits bildet. Die geringen Unterschiede zwischen den spezifischen Verbrauchswerten geben einen Hinweis darauf, dass die Erwerbstätigenstruktur der Gruppen in allen drei Landkreisen ähnlich ist. Dennoch werden weitere Unterschiede zwischen den Landkreisen deutlich, wenn der Energieverbrauch der Landkreise getrennt nach prozentualen Strom- und Brennstoffverbrauch wie in **Tab. 4-4** aufgelistet wird.

Tab. 4-4. Absoluter und prozentualer Strom- und Brennstoffverbrauch der Gruppen ähnlicher Verbrauchsstrukturen im Sektor GHD am gesamten Strom- und Brennstoffverbrauch in den drei betrachteten Landkreisen im Jahr 2008.

		Strom			Brennstoff		
		Ebe	Erh	Srb	Ebe	Erh	Srb
Baugewerbe	[MWh]	5.143	4.334	6.076	13.097	10.442	13.320
	[%]	3	3	5	4	4	5
Beherbergung, Gaststätten, Heime	[MWh]	16.136	15.360	13.505	49.128	47.284	34.480
	[%]	10	11	10	14	16	12
Büroähnliche Betriebe	[MWh]	25.136	21.749	12.938	74.504	67.069	40.592
	[%]	15	16	10	21	23	14
Gartenbau	[MWh]	477	172	526	9.185	3.187	10.280
	[%]	< 1	<1	<1	3	1	4
Handel	[MWh]	53.800	37.954	21.446	76.021	56.007	34.750
	[%]	33	27	17	22	19	12
Herstellungsbetriebe	[MWh]	17.134	28.828	13.377	21.592	31.205	17.885
	[%]	11	21	10	6	10	6
Krankenhäuser, Schulen	[MWh]	9.296	5.220	7.178	41.770	31.703	28.072
	[%]	6	4	6	12	11	10
Landwirtschaft	[MWh]	20.880	15.526	41.442	49.791	37.023	98.825
	[%]	13	11	32	14	12	34
Nahrungsmittel-gewerbe	[MWh]	6.619	6.966	5.560	11.558	10.149	8.478
	[%]	4	5	4	3	3	3
Wäschereien	[MWh]	255	327	224	292	375	256
	[%]	<1	<1	<1	< 1	< 1	< 1
Textil, Bekleidung, Leder	[MWh]	1.457	1.045	813	3.959	3.035	2.287
	[%]	1	1	1	1	1	1
Sonstige	[MWh]	6.109	2.602	5.960	1.222	520	1.192
	[%]	4	2	5	< 1	< 1	< 1

Den zweitstärksten Brennstoffverbraucher im Landkreis Erlangen-Höchstadt bildet dann die Gruppe der Herstellungsbetriebe, während im Landkreis Ebersberg die büroähnlichen Betriebe weiterhin Platz zwei belegen. Die größten Unterschiede im prozentualen Stromverbrauch der drei Landkreise finden sich in den Gruppen Handel, Herstellungsbetriebe und der Landwirtschaft. Bezogen auf den Brennstoffverbrauch bestehen die größten Unterschiede in den Gruppen büroähnliche Betriebe, Handel und Landwirtschaft. In allen übrigen Verbrauchsgruppen sind die Unterschiede eher gering

und beeinflussen die Unterschiede zwischen den mittleren Verbrauchswerten aller Bezugseinheiten der drei Landkreise nur unwesentlich.

In Hinblick auf die in Kapitel 2 definierten primären Kriterien zur Auswahl der Landkreise, lassen sich nun vorsichtig einzelne Zusammenhänge zwischen der Ausprägung der Erwerbstätigenzahlen und den Schwerpunkten des Energiebedarfs der Landkreise im Sektor GHD erkennen, obwohl die Zuordnung der Wirtschaftszweige zu den Gruppen ähnlicher Verbrauchsstrukturen einer von der Klassifikation der Wirtschaftszweige abweichenden Vorgehensweise folgt:

- Unterstützt durch den hohen Energiebedarf der Landwirtschaft findet sich der vergleichsweise hohe Erwerbstätigenanteil des Landkreises Straubing-Bogen in der Landwirtschaft sehr eindeutig auch als Schwerpunkt im Energieverbrauch des Landkreises wieder.
- Der Landkreis Ebersberg wurde als Landkreis mit besonders hohem Anteil der Erwerbstätigen in Gewerbe, Handel und Dienstleistung ausgewählt und weist in den Gruppen Handel und büroähnliche Betriebe zusammen genommen den höchsten Energiebedarf unter den drei betrachteten Landkreisen auf.
- Für den Landkreis Erlangen-Höchstadt, der als Landkreis mit Schwerpunkt im produzierenden Gewerbe ausgewählt wurde, kann bei Betrachtung der Energiebedarfsanteile im Sektor GHD zwar kein eindeutiger Schwerpunkt benannt werden, da die überwiegende Anzahl der Betriebe des produzierende Gewerbes nicht dem Sektor GHD zugeordnet werden. Deutlich höher als in den beiden anderen Landkreisen sind im Landkreis Erlangen-Höchstadt jedoch sowohl der Brennstoff- als auch der Stromverbrauch der Gruppe der Herstellungsbetriebe. Obwohl in dieser Gruppe nur Betriebe mit bis zu 20 Mitarbeitern vertreten sind, ist eine Tendenz zum Schwerpunkt produzierendes Gewerbe auch im Sektor GHD erkennbar.

Beim Vergleich der anteiligen Energieverbrauchswerte der drei Landkreise mit den Ergebnissen der Hochrechnung des Energiebedarfs im Sektor GHD in Deutschland aus dem Jahr 2006 [2] in **Abb. 4-6** finden sich zwei der zuvor genannten Ausprägungen ebenfalls wieder:

- Der anteilige Energieverbrauch der Landwirtschaft im Landkreis Straubing-Bogen ist verglichen mit dem anteiligen Energieverbrauch dieser Gruppe am Energieverbrauch Deutschlands sehr hoch.
- Der anteilige Energieverbrauch der Herstellungsbetriebe im Landkreis Erlangen-Höchstadt übersteigt den anteiligen Energieverbrauch dieser Gruppe auf Deutschlandebene deutlich.

Für den Handel im Landkreis Ebersberg lässt sich die beobachtete Ausprägung der Werte beim Vergleich mit den Werten der GHD-Studie jedoch nicht in der gleichen Größenordnung wieder finden. Der anteilige Energieverbrauch des Handels im Landkreis übersteigt den Verbrauchswert für Deutschland nur um 5 %-Punkte, während der anteilige Verbrauch der büroähnlichen Betriebe geringer ist als der deutschlandweite Wert.

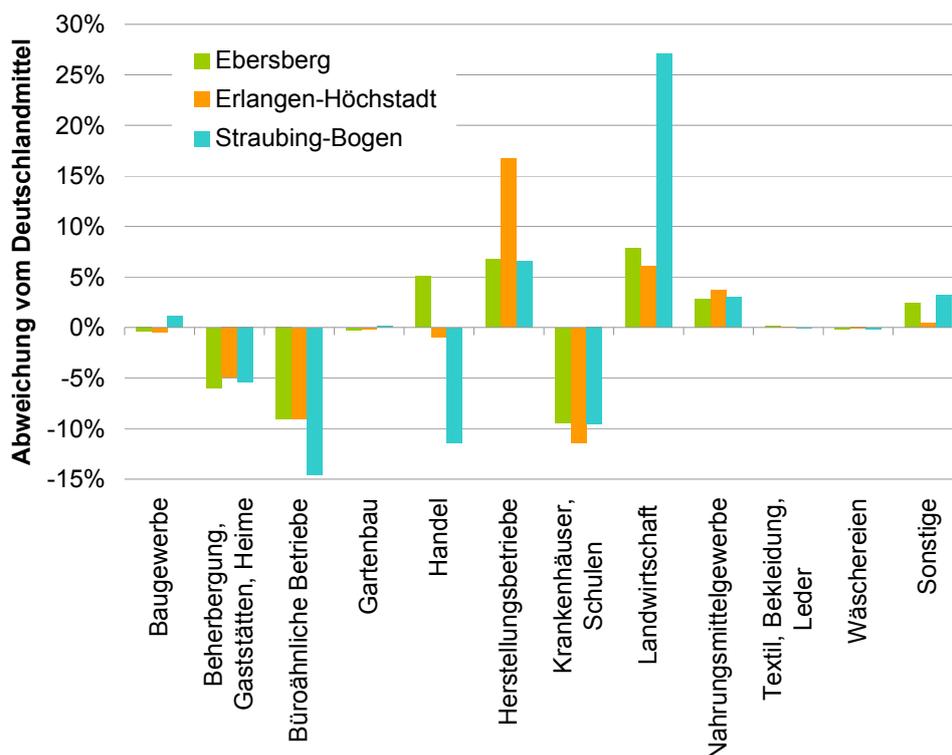


Abb. 4-6. Abweichung der prozentualen Energiebedarfsanteile der drei Landkreise im Jahr 2008 in den verschiedenen Gruppen vom Mittelwert Deutschlands.

Beim Vergleich der übrigen Gruppen mit den Ergebnissen für Deutschland fällt auf, dass sich die Abweichungen der anteiligen Energieverbrauchswerte in allen Landkreisen sehr ähnlich sind und die drei Landkreise damit vergleichbare Energieverbrauchsanteile aufweisen. Damit befinden sich die Abweichungen zwischen den Ergebnissen der einzelnen Landkreise wie auch im Vergleich mit den Ergebnissen für Deutschland hauptsächlich in den vier Gruppen Handel, büroähnliche Betriebe, Landwirtschaft und den Herstellungsbetrieben.

5 Schlussbetrachtung

Die Bemühungen zur Bewältigung des Wechsels von einer durch fossile Energieträger geprägten Energieversorgung zu einer umweltschonenden und von fossilen Ressourcen weitestgehend unabhängigen Versorgungsstruktur entwickeln sich in Deutschland in zunehmendem Maße. Von besonderer Bedeutung insbesondere für die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung ist dabei die Erschließung der enormen Potentiale zur Energieeinsparung auf der Energienachfrage-seite. Während auf regionaler Ebene die Erarbeitung von Konzepten zur Nutzung der vor Ort verfügbaren Rohstoffe für die Energiegewinnung stark vorangetrieben wird, unterbleibt zumeist eine Untersuchung der regionalen Energiebedarfsstrukturen, ohne deren Kenntnis eine Beurteilung der Effizienz der erarbeiteten Konzepte vielfach nicht möglich ist. Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Arbeit Methoden beschrieben, die die Hochrechnung des heutigen und des zukünftigen regionalen Heizwärmebedarfs der Wohngebäude im Sektor Haushalte ermöglichen und im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung die Bestimmung des aktuellen regionalen Heiz- und Brennstoffverbrauchs beinhalten. Die Anwendung der entwickelten Methoden wurde beispielhaft an drei ausgewählten Landkreisen vorgenommen und dabei die regionalen, landkreisspezifischen Einflüsse auf den Energiebedarf untersucht. Sowohl im Sektor Haushalte als auch im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung wurde die Methodenentwicklung durch den gewählten regionalen Bezugsraum Landkreis stark geprägt. Auslöser dafür befinden sich insbesondere in den Einschränkungen seitens des Datenschutzes und der nur begrenzten Verfügbarkeit von Daten zum Wohngebäudebestand und den Erwerbstätigen der drei Landkreise.

Im Sektor Haushalte bestand aus den zuvor genannten Gründen eine der zentralen Anforderungen in der Abbildung des gegenwärtigen Gebäudebestandes, da zu mehr als zwei Drittel der Wohneinheiten die aktuellsten Informationen nur aus der im Jahr 1987 durchgeführten Wohnflächenzählung vorlagen. Da das Sanierungsverhalten der Gebäudebesitzer in den drei betrachteten Landkreisen seit der Einführung der Wärmeschutzverordnungen ebenfalls weitgehend unbekannt ist, wurde für die Nachbildung der Entwicklung der Gebäude ein deterministisches Simulationsmodell erarbeitet, das auf der Basis eines wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatzes für jedes einzelne Gebäude beginnend mit dem Zeitpunkt der Herstellung einen individuellen Sanierungszeitplan erstellt. Die Grundlage für die Ermittlung der Sanierungszeitpunkte bildet die technische Lebensdauer der Einzelbauteile der wärmeübertragenden Hülle. Diese bestimmte allein aus wirtschaftlichen Gründen über lange Zeit in der überwiegenden Anzahl der Sanierungsfälle den Zeitpunkt für die Sanierung eines Bauteils, da vor der Einführung der Energieeinsparverordnung im Jahr 2002 in Verbindung mit niedrigen Energiepreisen die Amortisation der Mehrkosten durch den Wärmeschutz innerhalb der technischen Lebensdauer der Bauteile häufig nicht zu erreichen war. Doch auch nach Überschreiten dieser Grenze in den Jahren nach der Einführung der EnEV 2002, als

viele der Sanierungen im Gebäudebestand bei gleichzeitig steigenden Energiepreisen unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen hätten erfolgen können, bestanden Hemmnisse, die eine Abkehr der Sanierungsintervalle von der technischen Lebensdauer bisher nicht erkennen lassen.

Um den zufälligen Charakter der Sanierungsaktivitäten der Gebäudebesitzer zu erfassen, wurde die technische Lebensdauer der Einzelbauteile innerhalb des Simulationsmodells nicht über einen statischen Wert, sondern durch die Normalverteilung beschrieben. Trotz der nur sehr allgemeinen vorliegenden Informationen zu den Eigenschaften der Einzelbauteile der wärmeübertragenden Hülle besteht damit die Möglichkeit, das Ausfallverhalten durch den Verschleiß der ca. 120.000 Einzelbauteile der Gebäude eines Landkreises über einen längeren Zeitraum zumindest näherungsweise zu beschreiben. Die sich ergebenden individuellen Ausfallzeitpunkte der Bestandteile der wärmeübertragenden Hülle jedes einzelnen Gebäudes bilden die Grundlage für die Einschätzung der Heizwärmebedarfsentwicklung bis zum aktuellen Zeitpunkt, wie auch bis zum Ende des Simulationszeitraumes im Jahr 2030. Die Betrachtung des Heizenergiebedarfs als Zielgröße für die Hochrechnung konnte aufgrund der fehlenden Informationen zu der in den Wohngebäuden der Landkreise vorhandenen Anlagentechnik nicht vorgenommen werden.

Aufgrund der enormen Energieeinsparpotentiale im Gebäudebestand und den wachsenden Anreizen für die Durchführung energetischer Gebäudesanierungen muss mittel- bis langfristig von einer Veränderung der Sanierungsintervalle hin zu vorgezogenen Sanierungen ausgegangen werden. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, wurde der Simulationszeitraum in die Zeitabschnitte 1977-2009 als Ex-Post-Analyse und 2010-2030 für die szenarische Betrachtung untergliedert. Dabei ist die Veränderung des Heizwärmebedarfs in der Ex-Post-Analyse allein auf der Basis der Sanierungsanteile aus der Lebenszyklusbetrachtung möglich, während ab dem Jahr 2010 neben der Lebenszyklusbetrachtung die Anzahl der energetischen Sanierungen auch über die Vorgaben einer zu erfüllenden Sanierungsquote erfolgen kann. In diesem Fall werden bei zu geringer Anzahl der „fälligen“ Sanierungen die Sanierungen der folgenden Jahre vorgezogen, um die angegebene Quote zu erfüllen. Die Auswahl der energetisch zu sanierenden Gebäude folgt ebenfalls mit einem wahrscheinlichkeitstheoretischen Vorgehen, bei dem auf eine Durchmischung der Kandidatenliste nach jeder erfolgten Kandidatenauswahl Wert gelegt wurde.

Die gewählte Vorgehensweise des bottom-up Modells bietet die Möglichkeit, sowohl in einer Ex-Post-Analyse im Zeitabschnitt zwischen der Einführung der Wärmeschutzverordnungen und dem aktuellen Jahr sowie auch für den Zeitraum bis zum Jahr 2030 Sensitivitätsanalysen durchzuführen, um die Auswirkungen verschiedener Sanierungsaktivitäten auf die Entwicklung des Heizwärmebedarfs und die Sanierungsquote der unterschiedlichen Baualtersklassen untersuchen zu können. Durch die bauteilscharfe Modellierung ist die Berücksichtigung von Vollsanierungen an einzelnen Gebäuden jedoch nicht Ziel der Modellierung, da hierzu keine statistischen Informationen

vorhanden waren. Auf die Summe der Gebäude bezogen gleicht der Effekt der teilweise sanierten Gebäude jedoch der Auswirkung von Vollsanierungen, indem der geringste definierte Sanierungsanteil eines Bauteiltyps die Anzahl der Vollsanierungen bestimmen, die zusammengesetzt aus Sanierungen an verschiedenen Gebäuden zu verstehen sind.

In der Anwendung des Simulationsmodells auf die drei ausgewählten Landkreise zeigen sich erhebliche Unterschiede im aktuellen Heizwärmebedarf der Landkreise wie auch im Verlauf der Sanierungsquoten der einzelnen Baualterklassen bis zum Jahr 2030. Der sich im Einzugsgebiet München befindende Landkreis Ebersberg weist den niedrigsten aktuellen Heizwärmebedarf auf, während der Bedarf im Landkreis Straubing-Bogen diesen um ca. 29 % übersteigt. Obwohl der Landkreis Erlangen-Höchststadt eine ähnliche Besiedelungsdichte aufweist wie der Landkreis Ebersberg, übersteigt der Heizwärmebedarf der Haushalte dieses Landkreises den des Landkreises Ebersberg noch um ca. 13 %. Die Ursachen hierfür liegen in den unterschiedlichen Anteilen der einzelnen Baualterklassen an der Gesamtwohnfläche und der regional sehr unterschiedlichen durchschnittlichen Wohnfläche je Einwohner.

In allen Landkreisen gleichermaßen zeigen sich in der szenarischen Betrachtung Grenzen der energetischen Gebäudesanierung, solange die technische Lebensdauer als Zeitraum zwischen den Sanierungszeitpunkten zugrunde gelegt wird. Über den Gebäudebestand der Baujahre bis 1994 betrachtet beträgt die maximal mögliche Sanierungsquote der Wände ca. 3 %, während der Beitrag der Baualterklasse 1969-1978 in allen drei Landkreisen mit 31 % bis 45 % sehr hoch ist. Damit wird deutlich, welches enorme Potential die Gebäude dieser Baualterklasse allein durch den hohen Anteil dieser Baualterklasse innerhalb der betrachteten Wohngebäudebestände für die Reduktion des Energiebedarfs beinhalten. Gemäß der hohen Anzahl der zur Sanierung anstehenden Wohneinheiten dieser Baualterklasse zum aktuellen Zeitpunkt besteht durch die immer noch zögerlichen Sanierungsaktivitäten akuter Handlungsbedarf zur Aktivierung der Einsparpotentiale.

In der vorgestellten Simulation der Lebenszyklen der wärmeübertragenden Hülle der Einzelgebäude bildet das Ende der technischen Lebensdauer den wesentlichen Auslöser für die Möglichkeit zur Durchführung von Sanierungen. Obwohl durch die Vorgabe einer Sanierungsquote die Lebensdauer der Bauteile gezielt verkürzt wird oder durch die Anzahl der motivierten Sanierungen ein zusätzliches Sanierungspotential miteinbezogen werden kann, ist der Einfluss von Energiepreisschwankungen bisher nur indirekt berücksichtigt. Eine mögliche Erweiterung des Modells stellt daher die zusätzliche Berücksichtigung des Energiepreises als Grundlage für die Entscheidung für eine wärmetechnische Sanierung dar, da aufgrund der rasant steigenden globalen Energienachfrage langfristig eher von einer Erhöhung der Energiepreise ausgegangen werden muss.

Als weitere mögliche Ergänzung des Modells ist die begleitende Berechnung von Sanierungskosten denkbar, die anhand der zur Sanierung anstehenden Flächen hochgerechnet werden könnten. Damit einhergehend kann der Umfang der erforderlichen Investitionen sowie mögliche Impulse für das Auftragsvolumen an die regional ansässigen Unternehmen abgeschätzt werden.

Die Anwendung des vorgestellten Modells ist sowohl für kleinere als auch für größere Bezugsräume zur Abschätzung des zukünftigen Heizwärmebedarfs einsetzbar, während die zufällige Auswahl von Sanierungen die Nutzbarkeit des Modells eher in Richtung der kleineren Gebiete einschränkt. Dennoch ist der Einsatz des Modells auch für kleinere Gebiete denkbar, um Tendenzen der vorhandenen oder zukünftigen Entwicklungen abschätzen zu können. Bei der Verwendung von Eingangsdaten zu Gebäuden mit festem Ortsbezug ist die Definition zusätzlicher Randbedingungen und die Betrachtung unterschiedlicher Sanierungsvarianten einzelner Gebiete erforderlich, um den Ergebnisrahmen an die unterschiedlichen Ausprägungen von Sanierungsaktivitäten anzupassen.

Im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung lag der Schwerpunkt der Bearbeitung auf der Abbildung des regional ansässigen Gewerbes und dem daraus resultierenden Energieverbrauch innerhalb der drei betrachteten Landkreise. Im Gegensatz zum Sektor Haushalte bestehen für das regional ansässige Gewerbe nur sehr wenig detaillierte statistische Erfassungen, die eine Hochrechnung des Energieverbrauchs der Betriebe im Sektor GHD nicht zulassen. Die wesentliche Anforderung für die Hochrechnung des Energiebedarfs bestand daher in der Kombination der verschiedenen Datenbestände zum regionalen Gewerbe, um Auskünfte sowohl über die Größe als auch über die genaue Tätigkeit der Betriebe zu erhalten. Diese Informationen bilden die Grundlage für die Zuordnung des Betriebes entweder zu den Sektoren GHD oder Industrie sowie für die Zuordnung des spezifischen Energieverbrauchs des Betriebes für die spätere Hochrechnung. Da die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten durch die Einschränkungen des Datenschutzes nur in der Summe auf der Ebene der 3-Steller der Klassifikation der Wirtschaftszweige bekannt war, jedoch die Angaben über die exakte Betriebsgröße fehlten, musste die Zuordnung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zu den gemeldeten Gewerbebetrieben über stochastische Schritte vorgenommen werden.

Mit Hilfe der Listen der Landratsämter über die „größeren“ im Landkreis ansässigen Betriebe konnten zumindest ca. 1/3 der ca. 90.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den drei Landkreisen den Gewerbemeldungen zugeordnet und damit der maßgebliche Anteil der Industriebetriebe aus den Daten aussortiert werden. Da es sich dabei nur um Betriebe mit mehr als 20 Mitarbeitern handelte, ist der Fehler durch die stochastische Zuordnung der übrigen ca. 60.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten auf ca. 30.000 Gewerbeanmeldungen relativ gering. Zudem lag für die Gewerbemeldungen der Tätigkeitsschlüssel auf der Ebene der 5-Steller und für die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten die Zuordnung zu einem 3-Steller vor, so

dass die zufällige Verteilung nur in sehr engen Grenzen erfolgte und der Fehler bei der Zuordnung des Energieverbrauchs weiter minimiert wurde.

Den Nachteil der Verwendung von Gewerbeanmeldungen für die Abbildung des im Landkreis ansässigen Gewerbes bildet die teilweise sehr schlechte Qualität der Daten. In einem der drei Landkreise waren mehr als die Hälfte der gelieferten Datensätze doppelt oder unbrauchbar und erforderten eine aufwändige Nachbearbeitung. Ebenfalls in diesem Landkreis lag eine hohe Anzahl an Mehrfachnennungen für einzelne Gewerbetreibende vor. Da sich die Mehrfachnennungen auf einzelne Gemeinden beschränken ist davon auszugehen, dass die Methodik der Erfassung bei der Gewerbeanmeldung die Ursache für die vielen Mehrfachnennungen bildet. Nachdem keine Betriebe mit nennenswerter Mitarbeiterzahl von diesen Mehrfachnennungen betroffen waren, wurde auch hier eine zufällige Auswahl vorgenommen, um nur einen tätigen Inhaber als Faktor für die Hochrechnung des Energiebedarfs zu berücksichtigen. Der Vorteil der Verwendung der Gewerbeanmeldungen lag in der Möglichkeit, die Anzahl der tätigen Inhaber sowie den überwiegenden Teil der freiberuflichen Erwerbstätigen berücksichtigen zu können.

Die Abweichungen zwischen den hier hochgerechneten Erwerbstätigenzahlen und den Angaben des bayerischen statistischen Bundesamtes sind in den drei Landkreisen sehr unterschiedlich. In den Landkreisen Ebersberg und Straubing-Bogen war die Liste über die ansässigen Betriebe im Landkreis sehr ausführlich, so dass hier eine sehr umfangreiche Identifizierung der Industriebetriebe erfolgen konnte. Im Landkreis Straubing-Bogen jedoch findet sich die höchste Abweichung zwischen den hier berechneten und den statistischen Erwerbstätigenzahlen. Eine Ursache für die Abweichung kann in einer hohen Anzahl von nebenberuflich ausgeübten Gewerbeanmeldungen liegen, die insbesondere im Tätigkeitsbereich der Landwirtschaft durch die saisonalen Schwankungen des Arbeitsaufkommens verstärkt auftreten. Da viele Tätigkeiten in der Landwirtschaft nicht als Gewerbe gemeldet werden müssen, ist eine Gegenüberstellung von Mehrfachnennungen einzelner Gewerbetreibender zur Bestimmung des Hauptgewerbes nicht möglich. Da die spezifischen Energieverbrauchswerte die saisonale Tätigkeit der Landwirtschaft jedoch berücksichtigen, ist im Landkreis Straubing-Bogen der Tätigkeitsumfang anderer Bereiche eventuell etwas überbewertet.

In allen drei betrachteten Landkreisen lässt sich zwischen den Schwerpunkten der Erwerbstätigenzahlen aus der Vorauswahl der Landkreise in den Schwerpunkten des Energieverbrauchs der Gruppen ähnlicher Verbrauchsstrukturen ein Zusammenhang erkennen. Im Landkreis Straubing-Bogen ist dieses Ergebnis neben den hohen Erwerbstätigenzahlen auch auf den hohen spezifischen Energieverbrauch der Landwirtschaft zurückzuführen, so dass der Energieverbrauch dieser Gruppe im Landkreis Straubing-Bogen den höchsten aller Gruppen aufweist und zudem doppelt so hoch wie in den beiden übrigen Landkreisen ist. Den Schwerpunkt des Energieverbrauchs im Landkreis Ebersberg bilden der Handel und die büroähnlichen Betriebe, während der Landkreis durch den hohen Anteil der Erwerbstätigkeit in diesem Bereich für die Unter-

suchung ausgewählt wurde. Der deutlich geringere spezifische Verbrauch des Handels und der büroähnlichen Betriebe im Vergleich zur Landwirtschaft lassen diesen Schwerpunkt nicht besonders stark auftreten, dennoch ist er sowohl im Vergleich unter den drei Landkreisen wie auch im Vergleich mit den Energieverbrauchswerten der Studie zum Energieverbrauch im Sektor GHD in Deutschland [36] erkennbar. Im Landkreis Erlangen-Höchstadt besteht der Schwerpunkt der Erwerbstätigkeit im produzierenden Gewerbe des Landkreises, dessen überwiegende Anzahl an Betrieben dem Sektor Industrie zugeordnet wird. Da dennoch ein deutlich größerer Energieverbrauch der Herstellungsbetriebe im Sektor GHD vorhanden ist als in den beiden anderen betrachteten Landkreisen, ist auch hier ein Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Erwerbstätigenzahlen und dem Schwerpunkt des Energieverbrauchs erkennbar.

Die Methodenentwicklung der vorliegenden Arbeit umfasst die Hochrechnung des Energieverbrauchs im Sektor GHD eines Landkreises auf der Grundlage der spezifischen Verbrauchswerte der Wirtschaftsbranchen nach der GHD-Studie aus dem Jahr 2008. Eine mögliche Erweiterung der vorgestellten Methodik ist die Untersuchung der Anwendungsstrukturen von Energie im Sektor GHD in den Landkreisen, die die Identifizierung von Energieeinsparpotentialen und Substitutionspotentialen für den Einsatz erneuerbarer Energien ermöglicht. Die Größenstruktur der Betriebe in den drei Landkreisen, die einen erheblichen Einfluss auf die Anwendungsstruktur von Energie im Sektor GHD in den drei Landkreisen ausübt, müsste jedoch zuvor untersucht und auf Übereinstimmung mit den Ergebnissen der GHD-Studie aus dem Jahr 2008 überprüft werden.

6 Literaturverzeichnis

- [1] OECD; International Energy Agency: World Energy Outlook 2008: Zusammenfassung. Paris, 2008.
- [2] Fraunhofer Institut für Bauphysik: ERHORN, H. ET AL.; co2online gemeinnützige GmbH: FRIEDRICH, M. ET AL.; Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: CO₂ Gebäudereport 2007. Berlin, November 2007.
- [3] SCHLOMANN, B. ET AL.: Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006. Abschlussbericht an die Ministerien für Wirtschaft und Technologie und Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Karlsruhe, München, Nürnberg, Dezember 2008.
- [4] LOGA, T.; DIEFENBACH, N.; KNISSEL, J.; BORN, R.: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden. Institut für Wohnen und Umwelt. Darmstadt, Januar 2005.
- [5] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: CO₂ Gebäude-report 2007. Berlin, November 2007
- [6] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: Gebietsstand , Fortschreibung des Bevölkerungsstands, Erwerbstätigkeit der bayerischen Landkreise. Stand: 31.12.2006.
- [7] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie: Industriebericht Bayern 2005.
- [8] Bayerischer Industrie- und Handelskammertag BIHK e.V.: Standort Informationssystem Bayern: Sisby. Entwicklung BIP Bayern 2003.
- [9] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: Bestand an Wohngebäuden und Wohnungen in Bayern. Statistischer Bericht F/1j/2008. München 2009.
- [10] Statistisches Bundesamt: Bauen und Wohnen, Bestand an Wohnungen in Deutschland. Stand 31.12.2009. Wiesbaden, 2009.
- [11] MAYER, H.; FLACHMANN, Chr.: Der Energieverbrauch der privaten Haushalte 1955-2006. Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden, 2008.
- [12] Arbeitskreis Erwerbstätigenrechnung des Bundes und der Länder, bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, Berechnungsstand August 2009

- [13] EBEL, W. et al.: Energiesparpotenzial im Gebäudebestand. Institut für Wohnen und Umwelt. Darmstadt, 1990
- [14] Institut für Wohnen und Umwelt: Deutsche Gebäudetypologie. Dokumentation, Systematik und Datensätze. Darmstadt, 2003.
- [15] TZSCHEUTSCHLER P., NICKEL M., WERNICKE I., BUTTERMANN H.-G (2009). Energieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 2007. BWK 5/2009 ISSN 1618-193X. Düsseldorf 2009.
- [16] GÜLEC, T.; KOLMETZ, S.; ROUVEL, L.: Nutzenergiebedarf für Raumwärme in der Bundesrepublik Deutschland (alte und neue Bundesländer, 1989). IKARUS, Teilprojekt 5 „Haushalte und Kleinverbraucher“. Forschungszentrum Jülich GmbH. Jülich 1994.
- [17] AGETHEN, U.; FRAHM, K.-J.; RENZ, K.; THEES, E.: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. Arbeitsblatt der BTE Arbeitsgruppe. Essen 2006.
- [18] DIEFENBACH, N.; BORN, R.: Basisdaten für Hochrechnungen mit der Deutschen Gebäudetypologie des IWU. Institut für Wohnen und Umwelt. Darmstadt, 2007.
- [19] LOGA, T.; DIEFENBACH, N.; BORN, R.: Guter Ansatz, schwache Standards: die neue Energieeinsparverordnung. Stellungnahme zum Referentenentwurf vom 29.11.200 bzw. zum Kabinettsbeschluss vom 7. März 2001. Institut für Wohnen und Umwelt. Darmstadt, 2001.
- [20] DIEFENBACH, N.; KNISSEL, J.; LOGA, T.; Fachliche Stellungnahme zum Entwurf der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 18.04.2008. Institut für Wohnen und Umwelt. Darmstadt, Mai 2008.
- [21] LOGA, T.; DIEFENBACH, N.; ENSELING, A.; HACKE, U.; BORN, U.; KNISSEL, J.; HINZ, E.: Querschnittsbericht Energieeffizienz im Wohngebäudebestand. Institut für Wohnen und Umwelt. Darmstadt, 2007.
- [22] Hoppe, M.; Hauser, G.: Holzbau der Zukunft. Teilprojekt 10: Energetische Sanierung von Bestandsbauten in Holz- und Massivbauart unter Einsatz von Holz- und Holzwerkstoffen.
- [23] Ettrich, M.; Hauser, G.; Hoppe, M.: Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises. Technische Universität München. München 2010.
- [24] MARQUARDT, H.; Energiesparendes Bauen – von der europäischen Normung zur Energieeinsparverordnung. Teubner Verlag, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden. 1. Auflage Februar 2004.
- [25] DIN V 4108-6:2003-06: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.

- [26] Koch, S.; Statistik für Lebensdauervertelungen. Skript zum mathematischen Seminar,
- [27] DIN EN ISO 6946: 2008-04: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren.
- [28] DIN EN 12524:2007-07: Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte.
- [29] R. DAVID; M. ELSBERGER; L. ROUVEL: Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien/Teilprojekt 5 „Endenergie: Haushalte und Kleinverbraucher“: Gebäude- und Beheizungsstruktur der Wohngebäude in den alten und neuen Bundesländern. Neuauflage des Berichtes 05-07. IKARUS: Jülich: Forschungszentrum
- [30] BIRMANN, V.; Beiträge aus der Statistik: Bevölkerungsentwicklung in Bayern bis 2050 – Ergebnisse der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung. München, 2007.
- [31] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern bis 2025. Beiträge zur Statistik, Heft 537. August 2007.
- [32] Bundeszentrale für politische Bildung: Die soziale Situation in Deutschland – Haushalte nach Zahl der Personen.
http://www.bpb.de/wissen/IZ8910,0,Haushalte_nach_Zahl_der_Personen.html
(Abgerufen am 12.11.2009)
- [33] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit: Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur der am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm. Berlin, 5.12.2007.
- [34] GEIGER, B.; GRUBER, E.; MEGELE, W.: Energieverbrauch und Einsparung in Gewerbe, Handel und Dienstleitung. Schriftenreihe des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung, Reihe Technik, Wirtschaft und Politik. Physica-Verlag, Heidelberg, 1999.
- [35] DIEKMANN, J. ET AL.: Erarbeitung kostengünstiger Erhebungsformen zur Erfassung des effektiven Energieverbrauchs im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Berlin, Karlsruhe, München, Oktober 2000.
- [36] SCHLOMANN, B. ET AL.; Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD). Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Karlsruhe, Berlin, Nürnberg, Leipzig, München, April 2004.

- [37] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB e.V.): Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. Berlin, Münster, 2008.
- [38] Statistisches Bundesamt: Klassifikation der Wirtschaftszweige. Wiesbaden, 2008.
- [39] AEBISCHER, B.; CATENAZZI, G.: Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft 1990 - 2035; Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer. Centre for Energy Policy and Economics. Zürich, März 2007
- [40] Bundesministerium für Justiz: Sozialgesetzbuch (SGB), Viertes Buch (IV) - Gemeinsame Vorschriften für die Sozialversicherung - (Artikel I des Gesetzes vom 23. Dezember 1976, BGBl. I S. 3845), § 28a Meldepflicht.
- [41] AG Energiebilanzen (2008): Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland 1990-2006 und Auswertungstabellen 1990-2007. Berlin, Köln. Stand September 2008.
- [42] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, statistischer Bericht Kennziffer BI/II 1 j 2008: Bayerische Schulen im Schuljahr 2008/2009. Eckzahlen sämtlicher Schularten nach kreisfreien Städten und Landkreisen. München 2009
- [43] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: Erwerbstätige ausgewählter Wirtschaftszweige in den bayerischen Landkreisen im Jahr 2008.